

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»
Електропостачання заводу кабельної продукції
встановленою потужністю 2741 кВт**

спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
освітня програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ЕЕ-41

Комзюк Дмитро Сергійович

(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

Комзюк Д.С. Електропостачання заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт. Рукопис.

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

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

У проекті розроблено систему електропостачання заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 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

Sterenchuk D.V. Power supply to the cable production plant with an installed capacity of 2741 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 five sections, a list of sources used.

The project developed a power supply system for the of cable production plant with an installed capacity of 2741 kW.

Development of PPS of the enterprise was carried out on the basis of electrotechnical calculations – 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.....	7
РОЗДІЛ 1 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ.....	8
РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ ПРОЕКТНІ РІШЕННЯ	12
2.1. Розрахунок електричних навантажень системи електропостачання.....	12
2.1.1. Розрахунок силового електричного навантаження.....	12
2.1.2. Розрахунок освітлювального навантаження	16
2.1.3. Розрахунок електричних навантажень на шинах 0,4 кВ ТП.....	18
2.2. Вибір кількості і потужності трансформаторів на підстанції.....	21
2.3. Розрахунок електричних навантажень на шинах 10 кВ трансформаторної підстанції	24
2.4. Побудова картограми навантажень і визначення теоретичного центру навантажень	26
2.5. Вибір схеми зовнішнього електропостачання.....	28
2.5.1. Обґрунтування вибору джерела живлення	28
2.5.2. Вибір номінальної напруги, кількості, перерізу та марки ліній електропередачі	28
2.6. Вибір внутрішньозаводської системи електропостачання	32
2.7. Розрахунок струмів короткого замикання для системи електропостачання	33
2.7.1. Розрахунок трифазного струму короткого замикання	33
2.7.2. Перевірка термічної стійкості обраного поперечного перерізу кабелю.....	36
2.7.3. Розрахунок струму короткого замикання в мережі 0,4 кВ цеху виготовлення гнучких проводів.....	37
2.8. Вибір обладнання	39
2.8.1. Вибір обладнання на підстанції джерела живлення	39

					ЛНТУ. 971017.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Комзюк Д.С.			Електропостачання заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт. Пояснювальна записка.	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Гадай А.В.				Д	5	98
						ФАБЕ, гр. ЕЕ-41		
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.						
Затверд.		Волинець В.І.						

2.8.2. Вибір обладнання для підстанцій заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт	42
2.8.3. Вибір схеми і конструктивного виконання цеху виготовлення гнучких проводів	46
2.9. Розрахунок електричної мережі цеху виготовлення гнучких проводів	47
2.9.1. Вибір освітлювальної мережі в цеху виготовлення гнучких проводів	50
2.9.2. Вибір автоматичних вимикачів цеху виготовлення гнучких проводів	52
РОЗДІЛ 3 ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВЕРСТАТУ РІЗАННЯ ПРОВОДУ	
AS251	54
3.1. Розрахунок головного приводу верстату різання проводу AS251	54
3.2 Розрахунок і вибір пристроїв схеми керування	55
3.3 Вибір мережі живлення верстату різання проводу AS251.....	57
РОЗДІЛ 4 САПР	60
РОЗДІЛ 5 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА	64
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	66
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	68
ДОДАТКИ	69

ВСТУП

Формування та безперебійне функціонування сучасних заводів з виробництва кабельної продукції потребує надійної, стійкої та ефективної інфраструктури енергопостачання. Такі промислові підприємства характеризуються значним рівнем енергоспоживання, а це, у свою чергу, вимагає ретельно спроектованої системи електропостачання для задоволення значних і змінних навантажень.

Особливе значення має забезпечення безперебійного електроживлення, оскільки воно визначає стабільність виробничого планування, довговічність технологічного обладнання та загальну ефективність експлуатаційних процесів. Будь-які порушення електропостачання або коливання напруги можуть спричинити зупинки виробництва, псування сировини та матеріалів, а також пошкодження високоточного обладнання, що в підсумку призводить до значних економічних втрат.

Безпосередньо виробничий процес характеризується значною енергоємністю та потребує значних електричних ресурсів. Зокрема, технологічне обладнання, таке як верстати з числовим програмним керуванням, пресове устаткування та зварювальні установки, споживає значні обсяги електроенергії під час роботи. Водночас допоміжні інженерні системи, зокрема вентиляція, освітлення, системи виробництва стисненого повітря та підтримання параметрів мікроклімату, також істотно впливають на загальний баланс енергоспоживання підприємства.

Основним завданням цієї роботи є дослідження та обґрунтування системи електропостачання заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт з урахуванням сучасних технічних вимог. Предметом даного дослідження виступають технічні, організаційні та практичні аспекти проєктування й впровадження ефективної системи електропостачання для підприємств вказаного профілю.

					ЛНТУ. 971017.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

РОЗДІЛ 1

КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ

Підприємство завод кабельної продукції спеціалізується на виробництві різних типів кабельно-провідникової продукції: силових кабелів для електричних мереж, монтажних та побутових проводів, контрольних та сигнальних кабелів, гнучких кабелів для техніки.

До споживачів заводу кабельної продукції першої категорії надійності електропостачання відноситься система пожежогасіння. Споживачі другої категорії представлене переважно виробничими верстатами. Інше електрообладнання відноситься третьої категорії.

Встановлені потужності кожної будівлі заводу кабельної продукції наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Встановлені потужності заводу кабельної продукції

№ з/п	Назва об'єкта	Встановлена потужність, кВт
1	Цех виготовлення гнучких проводів	124
2	Екструзійний цех полімерної ізоляції	536
3	Цех виготовлення кабелів	474
4	Склад металевої сировини	85
5	Склад полімерних матеріалів	62
6	Енергетичний цех	743
7	Склад готової продукції	53
8	Цех маркування та пакування	46
9	Лабораторія випробувань кабельної продукції	11
10	Склад	57
11	Цех скручування силових жил	550
	Всього	2741

Генеральний план заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт наведено на рис. 1.1.

					ЛНТУ. 971017.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Комзюк Д.С.			Електропостачання заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт. Пояснювальна записка.	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Гадай А.В.				Д	8	5
						ФАБЕ, гр. ЕЕ-41		
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.						
Затверд.		Волинець В.І.						

Рисунок 1.1 – Генеральний план заводу кабельної продукції
встановленою потужністю 2741 кВт

Схему розміщення приймачів у цеху виготовлення гнучких проводів наведений на рис. 1.2.

Потужність приймачів у цеху виготовлення гнучких проводів наведені в табл. 1 2.

Таблиця 1.2 – Потужність приймачів у цеху виготовлення гнучких проводів

№ з/п	Назва обладнання	Номінальна потужність, кВт
1	2	3
1	Вентилятор місцевої витяжної вентиляції	4,6
2	Вентиляційна установка виробничого залу	2,4
3	Лабораторний стенд перевірки ізоляції hs-21	6,4

Продовження таблиці 1.2

1	2	3
4	Маркувальний принтер для кабелю НК-240	5,4
5	Верстат різання проводу AS251	4,4
6	Намотувальний верстат малого діаметра GH-125	1,8
7	Автоматичний намотувальний верстат FA-25	4,4
8	Електричний підйомний тельфер HJ-300	5,7
9	Екструдер малої продуктивності JUJ-55	1,3
10	Скручувальний верстат для багатодротових жил AS-10	3,6
11	Крутильна машина середньої продуктивності SFH-020	3,3
12	Автоматичний пристрій укладання проводу в бухти HS44	3,9
13	Електричний підіймач котушок	3,2
14	Компресор пневмосистеми	15,1
15	Барабан накладання ізоляції SHF-01	1,8
16	Крутильна машина великої продуктивності SH-D	2,6
17	Автомат охолодження та калієлю H21	4,4
18	Сканер контролю діаметра проводу DH	17,1
19	Автомат для обв'язування бухт дротом H3	4,8
20	Сушильна шафа для полімерної ізоляції	3,6
21	Вентилятор місцевої витяжної вентиляції	1,7

Рисунок 1.2 –План розміщення приймачів у цеху виготовлення гнучких
проводів

Підприємство працює у двозмінному режимі.

Живлення заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт здійснюється від підстанції, розташованої на відстані 3,55 км. Трифазна потужність короткого замикання на шинах 10 кВ підстанції становить 141 МВА. Розподільчий пристрій 10 кВ виконано на двох системах шин і обладнано АВР. Розподільчий пристрій підстанції укомплектований вакуумними вимикачами та повним набором необхідного обладнання.

					ЛНТУ. 971017.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНІ ПРОЕКТНІ РІШЕННЯ

2.1. Розрахунок електричних навантажень системи електропостачання

2.1.1. Розрахунок силового електричного навантаження

Визначення електричних навантажень є одним із ключових факторів, від якого значною мірою залежить загальна надійність системи електропостачання підприємства. Розрахунок електричних навантажень для мереж напругою до 1 кВ, як правило, виконується із застосуванням «методу впорядкованої діаграми» [1], детальний алгоритм якого наведено в додатку А.

У межах розрахункового вузла групи 1 цеху виготовлення гнучких проводів першочергово визначається сумарна номінальна потужність усіх електроприймачів, що працюють зі змінним навантаженням

$$\sum P_{\text{ном.і}} = 1 \cdot 6,4 + 1 \cdot 5,4 + 1 \cdot 4,4 + 1 \cdot 5,7 = 21,9 \text{ кВт.} \quad (2.1)$$

На наступному етапі розрахунку виконується визначення середніх значень активної та реактивної потужностей робочих електроприймачів у цеху виготовлення гнучких проводів, що підсумовуються відповідно до

$$\begin{aligned} P_{\text{сер.зм}} &= 0,20 \cdot 1 \cdot 6,4 + 0,2 \cdot 1 \cdot 5,4 + 0,5 \cdot 1 \cdot 4,4 + 0,3 \cdot 1 \cdot 5,7 = \\ &= 1,28 + 1,08 + 2,20 + 2,00 = 6,56 \text{ кВт,} \end{aligned} \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{сер.зм}} &= 1,28 \cdot 1,02 + 1,08 \cdot 1,02 + 2,20 \cdot 0,75 + 2,00 \cdot 1,52 = \\ &= 1,31 + 1,10 + 1,65 + 3,03 = 7,09 \text{ кВАр.} \end{aligned} \quad (2.3)$$

Подальшим кроком є визначення ефективної кількості електроприймачів у зазначеному цеху з урахуванням схеми змінного навантаження вузла групи 1:

					ЛНТУ. 971017.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Електропостачання заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт. Пояснювальна записка.</i>	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		<i>Комзюк Д.С.</i>				Д	12	35
Перевір.		<i>Гадай А.В.</i>				ФАБЕ, гр. ЕЕ-41		
Н. контр.		<i>Ващелюк Ю.І.</i>						
Затверд.		<i>Волинець В.І.</i>						

$$n_{ef} = \frac{21,9^2}{1,6,4^2 + 1,5,4^2 + 1,4,4^2 + 1,5,7^2} = 3,93. \quad (2.4)$$

Величина максимального коефіцієнта для першої групи електроприймачів приймається рівною $K_m = 2,15$.

Максимальне активне навантаження розрахункового вузла цеху виготовлення гнучких проводів (Група 1) визначається за формулою:

$$P_m = 2,15 \cdot 6,56 = 14,09 \text{ кВт}. \quad (2.5)$$

З урахуванням того, що ефективна кількість приймачів у першій групі не перевищує 10, реактивне навантаження визначається з коефіцієнтом:

$$Q_m = 1,1 \cdot 7,09 = 7,80 \text{ кВАр}.$$

Для електроприймачів тривалого режиму роботи додатково визначаються розрахункові значення потужностей:

$$P_m = 11,85 \text{ кВт};$$

$$Q_m = 9,58 \text{ кВАр}.$$

Узагальнені результати виконаних розрахунків електричних навантажень для трьох груп електроприймачів цеху виготовлення гнучких проводів наведено у таблицях 2.1 та 2.2.

Таблиця 2.1 – Визначення електричних параметрів у цеху виготовлення гнучких проводів

Назва приймачів або номер групи	Кіл.	Р _{ном} , кВт		К _{вик}	cosφ	tgφ	Середня потужність		n _{ef}	K _m
		Одного	Сумарн.				P _{сер.зм} , кВт	Q _{сер.зм} , кВАр		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Група-1										
Приймачі із змінним графіком навантаження										
Лабораторний стенд перевірки ізоляції hs-21	1	6,4	6	0,20	0,70	1,02	1,28	1,31		
Маркувальний принтер для кабелю NK-240	1	5,4	5,4	0,20	0,70	1,02	1,08	1,10		

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Верстат різання проводу AS251	1	4,4	4,4	0,50	0,80	0,75	2,20	1,65		
Електричний підйомний тельфер HJ-300	1	5,7	5,7	0,3	0,55	1,5 2	2,00	3,03		
Всього	4		21,9	0,30			6,56	7,09	3,93	2,15
Приймачі з постійним графіком навантаження										
Вентилятор місцевої втяжної вентиляції	3	4,6	13,8	0,65	0,80	0,75	8,97	6,73		
Вентиляційна установка виробничого залу	2	2,4	4,8	0,60	0,71	0,99	2,88	2,86		
Всього	5		19				11,85	9,58		
ВСЬОГО Група -1	9		40,5				18,41	16,67		
Група -2										
Приймачі із змінним графіком навантаження										
Намотувальний верстат малого діаметра GH-125	1	1,8	1,8	0,20	0,70	1,02	0,36	0,37		
Автоматичний намотувальний верстат FA-25	1	4,4	4,4	0,30	0,70	1,02	1,32	1,35		
Екструдер малої продуктивності JIJ- 55	1	1,3	1,3	0,20	0,70	1,02	0,26	0,27		
Скручувальний верстат для багатодротових жил AS-10	1	3,55	3,6	0,20	0,55	1,52	0,71	1,08		
Крутильна машина середньої продуктивності SFH- 020	1	3,25	3,3	0,22	0,37	2,51	0,72	1,80		
Всього	5		14,3	0,24			3,37	4,85	4,31	2,35
Приймачі з постійним графіком навантаження										
Компресор пневмосистеми	2	6,7	13,4	0,65	0,80	0,75	8,71	6,53		
Всього	2		13,4	0,65			8,71	6,53		
ВСЬОГО Група -2	7		27,7				12,08	11,39		
Група -3										
Приймачі із змінним графіком навантаження										
Барабан накладання ізоляції SHF-01	1	1,8	1,8	0,25	0,65	1,17	0,45	0,53		
Крутильна машина великої продуктивності SH- D	1	2,6	2,6	0,20	0,70	1,02	0,52	0,53		

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛНТУ. 971017.000 ПЗ

Арк.

14

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Автомат охолодження та калібрування кабелю Н21	1	4,4	4,4	0,20	0,70	1,02	0,88	0,90		
Сканер контролю діаметра проводу DH	1	17,1	17,1	0,45	0,60	1,33	7,70	10,26		
Автомат для обв'язування бухт дротом Н3	1	4,8	4,8	0,20	0,70	1,02	0,96	0,98		
Електричний підйомач катушок AF01	1	3,2	3,2	0,40	0,65	1,17	1,28	0,96		
Автоматичний пристрій укладання проводу в бухти HS44	1	3,9	3,9	0,40	0,74	0,91	1,56	1,42		
Всього	7		37,80	0,35			13,35	15,57	3,86	1,97
Приймачі з постійним графіком навантаження										
Сушильна шафа для полімерної ізоляції	1	3,6	3,6	0,60	0,74	0,91	2,16	1,96		
Вентилятор місцевої витяжної вентиляції	1	1,7	1,7	0,70	0,85	0,62	1,19	0,74		
Компресор пневмосистеми	1	15,1	15,1	0,70	0,85	0,62	10,57	6,55		
Всього	3		20,4	0,69			13,92	9,25		
Всього Група -3	10		58,20				27,27	24,82		

Таблиця 2.2 – Розрахунок електричних навантажень цеху виготовлення гнучких проводів

Номер групи приймачів	Середня потужність		Розрахункове навантаження	
	$P_{\text{сер.зм}}, \text{кВт}$	$Q_{\text{сер.зм}}, \text{кВАр}$	$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{кВАр}$
1	2	3	4	5
Група-1				
Приймачі із змінним графіком навантаження	6,56	7,09	14,09	7,80
Приймачі з постійним графіком навантаження	11,85	9,58	11,85	9,58
ВСЬОГО Група -1	18,41	16,67	25,94	17,38
Група -2				
Приймачі із змінним графіком навантаження	3,37	4,85	7,91	5,34
Приймачі з постійним графіком навантаження	8,71	6,53	8,71	6,53

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5
ВСЬОГО Група -2	12,08	11,39	16,62	11,87
Група -3				
Приймачі із змінним графіком навантаження	13,35	15,57	26,31	17,13
Приймачі з постійним графіком навантаження	13,92	9,25	13,92	9,25
ВСЬОГО Група -3	27,27	24,82	53,57	26,38

2.1.2. Розрахунок освітлювального навантаження

Визначення навантаження освітлювальних установок суттєво впливає на надійність їх електроживлення, оскільки похибки розрахунку можуть призвести до неефективної роботи системи.

З цією метою доцільно застосовувати методику, наведену в додатку Б, яка забезпечує необхідну точність інженерних розрахунків.

Для освітлення основних виробництв заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт передбачено використання люмінесцентного та світлодіодного освітлення як основних джерел світла. У допоміжних виробничих і невиробничих приміщеннях підприємства застосовується переважно люмінесцентне освітлення, що відповідає технологічним вимогам.

Електроживлення освітлювальних мереж заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт здійснюється від трансформаторної підстанції через окрему лінію, незалежну від силового електропостачання.

Розрахунок параметрів освітлення для цеху виготовлення гнучких проводів виконується із використанням спеціалізованого програмного забезпечення DIALux. У процесі моделювання були обрані освітлювальні прилади типу WHITECROFT 17K, що відповідають заданим світлотехнічним характеристикам.

Детальний опис процедури розрахунку наведено у Розділі 4, де розглянуто всі етапи моделювання освітлення.

Отримані результати розрахунку освітлення наведені на рисунку 2.1 для наочного представлення.

Рисунок 2.1 – Організації освітлення у цеху виготовлення гнучких проводів

Загальна встановлена потужність освітлювального навантаження у цеху виготовлення гнучких проводів визначається за кількістю світильників і становить:

$$P_{н.о} = 10 \cdot 140 = 1400 \text{ Вт} \quad (2.6).$$

Середнє значення активного навантаження освітлювальних приймачів у даному цеху розраховується з урахуванням коефіцієнтів використання і запасу:

$$P_{р.о} = 1400 \cdot 0,8 \cdot 1,05 = 1176 \text{ Вт.} \quad (2.7)$$

Середнє значення реактивного навантаження освітлювальних приймачів цеху виготовлення гнучких проводів:

$$Q_{р.о} = 1176 \cdot 0,33 = 388 \text{ Вар.} \quad (2.8)$$

Для розрахунку освітлювального навантаження на всьому заводі кабельної продукції доцільно застосувати «метод питомої щільності» навантаження», наведений у додатку Б.

					ЛНТУ. 971017.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Очікуване значення освітлювального навантаження обмоткового цеху визначається за питомими показниками та становить

$$P_{p.o.} = 640 \cdot 5 = 7,4 \text{ кВт.} \quad (2.9)$$

Розрахункове значення реактивної потужності освітлювального навантаження у цьому цеху визначається:

$$Q_{p.o.} = 7,4 \cdot 1,48 = 13,6 \text{ кВАр.} \quad (2.10)$$

Підсумкові результати виконаних розрахунків для заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт зведені у таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Результати розрахунку освітлювального навантаження заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт

Назва	Площа, м ²	$p_{\text{пит}}$, Вт/м ²	$P_{p.o.}$, кВт	$Q_{p.o.}$, кВАр
Цех виготовлення гнучких проводів	640	12	7,4	13,6
Екструзійний цех полімерної ізоляції	23760	1	24,1	44,1
Цех виготовлення кабелів	3024	20	11,9	21,7
Склад металевої сировини	960	10	2,6	4,7
Склад полімерних матеріалів	400	10	3,7	6,8
Енергетичний цех	3600	11	37,2	67,9
Склад готової продукції	201	9	1,6	67,9–
Цех маркування та пакування	201	9	1,6	2,9
Лабораторія випробувань кабельної продукції	1440	5	0,3	0,6
Склад	8960	3	26,9	49,1
Цех скручування силових жил	2304	13	27,5	50,3
Територія	148310	0,1	14,8	27,1

2.1.3. Розрахунок електричних навантажень на шинах 0,4 кВ ТП

Точність визначення електричного навантаження шин ТП 0,4 кВ безпосередньо впливає на загальну надійність електропостачання споживачів підприємства.

У додатку В наведено розгорнуту методику визначення зазначеного типу електричного навантаження з урахуванням нормативних коефіцієнтів.

Розрахунок активного навантаження шин ТП 0,4 кВ обмоткового цеху виконується за встановленими коефіцієнтами використання потужності

$$P_p = 0,65 \cdot 124 = 74,4 \text{ кВт.} \quad (2.11)$$

Визначення реактивної складової навантаження здійснюється з урахуванням коефіцієнта потужності

$$Q_p = 74,4 \cdot 0,75 = 59,5 \text{ кВАр.}$$

У таблиці 2.4 представлено узагальнений розрахунок потужнісного навантаження шин ТП 0,4 кВ для заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт.

Таблиця 2.4 – Розрахунок потужності навантаження на шинах 0,4 кВ ТП

Приміщення	$P_{\text{ном}}$, кВт	$K_{\text{вик}}$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	P_p , кВт	Q_p , кВАр	S_p , кВА
Цех виготовлення гнучких проводів	124	0,65	0,80	0,75	74,4	59,5	95,3
Екструзійний цех полімерної ізоляції	536	0,54	0,73	0,94	268,0	195,6	331,8
Цех виготовлення кабелів	474	0,50	0,66	1,14	237,0	156,4	284,0
Склад металевої сировини	85	0,30	0,50	1,73	25,5	12,8	28,5
Склад полімерних матеріалів	62	0,60	0,80	0,75	37,2	29,8	47,6
Енергетичний цех	743	0,54	0,73	0,94	371,5	271,2	460,0
Склад готової продукції	53	0,30	0,65	1,17	17,1	11,1	20,4
Цех маркування та пакування	46	0,30	0,65	1,17	13,8	9,0	16,5
Лабораторія випробувань кабельної продукції	11	0,30	0,75	0,88	3,3	2,5	4,1
Склад	57	0,30	0,65	1,17	15,9	10,3	19,0
Цех скручування силових жил	550	0,54	0,73	0,94	275,0	200,8	340,5
Всього					1749,8	1270	2162,1

Сумарне навантаження обмоткового цеху включає силові електрообладнання та освітлювальні установки, визначається підсумовуванням

$$P_{p\Sigma} = 74,4 + 7,4 = 81,84 \text{ кВт.} \quad (2.12)$$

Реактивна потужність при цьому також уточнюється з урахуванням додаткового навантаження освітлення.

$$Q_{p\Sigma} = 59,5 + 13,6 = 73,1 \text{ кВАр.}$$

У таблиці 2.5 наведено результати узагальненого розрахунку сумарного електричного навантаження для заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт.

Таблиця 2.5 – Розрахунок сумарного навантаження шин підстанції 0,4 кВ

Назва приміщення	P_p , кВт	$Q_{p\prime}$, кВАр	$P_{p.o\prime}$, кВт	$Q_{p.o\prime}$, кВАр	$P_{p\Sigma}$, кВт	$Q_{p\Sigma}$, кВАр	S_p , кВА
Цех виготовлення гнучких проводів	74,4	59,5	7,4	13,6	81,84	73,1	109,75
Екструзійний цех полімерної ізоляції	268,0	195,6	24,1	44,1	292,1	239,7	377,9
Цех виготовлення кабелів	237,0	156,4	11,9	21,7	248,9	178,1	306,0
Склад металевої сировини	25,5	12,8	2,6	4,7	28,1	17,4	33,0
Склад полімерних матеріалів	37,2	29,8	3,7	6,8	40,9	36,6	54,9
Енергетичний цех	371,5	271,2	37,2	67,9	408,7	339,1	531,0
Склад готової продукції	17,1	11,1	1,6	67,9–	18,7	14,0	23,4
Цех маркування та пакування	13,8	9,0	1,6	2,9	15,4	11,9	19,4
Лабораторія випробувань кабельної продукції	3,3	2,5	0,3	0,6	3,6	3,1	4,8
Склад	15,9	10,3	26,9	49,1	42,8	59,5	73,3
Цех скручування силових жил	275,0	200,8	27,5	50,3	302,5	251,0	393,1
Освітлення території	0	0	14,83	27,1	1353,5	27	1353,8
Всього					2837,0	1250,5	3100,3

На основі отриманих розрахункових даних буде здійснено обґрунтований вибір трансформаторів, шин, комутаційних апаратів і захисного обладнання підстанції з розрахунковою потужністю 3100,3 кВА.

2.2. Вибір кількості і потужності трансформаторів на підстанції

Ключовим фактором забезпечення надійності електропостачання є коректне обґрунтування кількості та номінальної потужності трансформаторів на підстанції, яке виконується відповідно до методики, наведеної в додатку Д.

З урахуванням сумарного електроспоживання заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт, а також наявності споживачів електроенергії II та III категорій, доцільно прийняти рішення про встановлення щонайменше одного силового трансформатора.

Розрахункова щільність електричного навантаження:

$$S_{\text{нум}} = \frac{2837,0}{45490} = 0,068 \text{ кВА/м}^2. \quad (2.13)$$

На підставі отриманих даних обирається варіант підстанції з трансформаторами номінальною потужністю 630 кВА або 1000 кВА, які підлягають подальшому порівняльному аналізу.

У випадку застосування трансформаторів потужністю 630 кВА необхідна кількість визначається наступним чином:

$$N_{\text{ек}} = \frac{2837,0}{630 \cdot 0,8} = 5,6 \text{ шт.} \quad (2.14)$$

З огляду на отримане значення, доцільно прийняти до встановлення чотири трансформатори даного типу.

При виборі трансформаторів номінальною потужністю 1000 кВА їх кількість становить:

$$N_{\text{ек}} = \frac{2837,0}{1000 \cdot 0,8} = 3,5 \text{ шт.}$$

					ЛНТУ. 971017.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У цьому випадку раціональним є встановлення трьох трансформаторів відповідної потужності.

Для першого варіанту з трансформаторами 630 кВА визначається можливість передачі реактивної потужності на сторону 0,4 кВ за формулою:

$$Q_m = \sqrt{(0,8 \cdot 4 \cdot 630)^2 + (2837,0)^2} = 1047,0 \text{ кВАр.} \quad (2.15)$$

На основі розрахованих значень визначається необхідна потужність компенсаційного пристрою, зокрема ємність конденсаторної установки:

$$Q_{кн} = 1250,5 - 1047,0 = 203,5 \text{ кВАр.} \quad (2.16)$$

З практичних міркувань приймається встановлення чотирьох конденсаторних установок типу УКАР-0,4/140 із сумарною потужністю 560 кВАр.

Вартість втрат електричної енергії у трансформаторах потужністю 630 кВА становить:

$$C_{в.т} = \left(4 \cdot 7,6 \frac{1764,2^2 + (1467,8 - 560)^2}{(4 \cdot 630)^2} \cdot 1226 + 4 \cdot 2,27 \cdot 4000 \right) \cdot 12,6785 \cdot 10^{-3} =$$
$$= 1043,094 \text{ тис.грн.} \quad (2.17)$$

Аналогічно визначається вартість втрат у конденсаторній батареї, яка обчислюється за формулою:

$$C_{в.кн} = 4,5 \cdot 560 \cdot 8760 \cdot 12,6785 \cdot 10^{-3} = 279,880 \text{ тис. грн.} \quad (2.18)$$

Сумарні витрати на встановлення підстанції за першим варіантом включають капітальні вкладення та експлуатаційні втрати і становлять:

$$Z_m = (0,12 + 0,05) \cdot 4 \cdot 495,504 + 1043,094 = 1380,036 \text{ тис. грн.,}$$

де $K_m = 495,504 \text{ тис. грн.}$

					ЛНТУ. 971017.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Окремо визначається вартість встановлення конденсаторних установок, яка з урахуванням експлуатаційних витрат дорівнює:

$$Z_{\text{кн}} = (0,12 + 0,05) \cdot 4 \cdot 16,844 + 279,880 = 291,334 \text{ тис. грн.}$$

Сумарні затрати за першим варіантом:

$$Z = 1380,036 + 291,334 = 1671,370 \text{ тис. грн.}$$

Для другого варіанту з трансформаторами потужністю $S_{\text{т.ном}} = 1000$ кВА проводимо такі самі розрахунки і результати зводимо в таблицю 2.6.

Таблиця 2.6 – Вибір кількості та потужності трансформаторів ТП

$S_{\text{т.ном}},$ кВА	Кількість, шт.	$Q_{\text{т}},$ кВАр	$Q_{\text{кн.вст}},$ кВАр	$C_{\text{в.т.}},$ тис. грн.	$C_{\text{в.кн.}},$ тис. грн.	$Z_{\text{т}},$ тис. грн.	$Z_{\text{кн}},$ тис. грн.	$Z,$ тис. грн.
630	4	1047,0	560	1043,094	279,880	1380	291,334	1724,378
1000	3	1480,4	0	653,012	0,000	946,479	0,000	946,479

Порівняльний аналіз показує, що другий варіант із сумарними витратами 946,479 тис. грн є економічно більш доцільним порівняно з першим варіантом. З урахуванням вибраного варіанту виникає необхідність встановлення додаткових засобів компенсації реактивної потужності у вигляді конденсаторних батарей.

Існує два технічно можливих способи реалізації компенсації: застосування низьковольтних або високовольтних конденсаторних установок.

З техніко-економічної точки зору використання конденсаторних батарей напругою 10 кВ є менш доцільним через їх високу вартість та необхідність розширення електричних мереж. Додатково слід врахувати, що застосування високовольтних конденсаторів призводить до збільшення капітальних витрат на будівництво та модернізацію ліній електропередачі.

Враховуючи зазначені обставини, оптимальним рішенням є використання низьковольтних конденсаторних батарей для компенсації реактивної потужності. У результаті приймається рішення про встановлення

двох двотрансформаторних підстанційних блоків із трансформаторами типу ТМ-630/10.

Для забезпечення компенсації реактивної потужності передбачається встановлення чотирьох конденсаторних установок типу УКАР-0,4/140.

Функціональний розподіл навантаження передбачає, що ТП1 живить навантаження обмоткового цеху, частину головного корпусу, цеху виготовлення кабелів, складу металевої сировини, складу полімерних матеріалів, складу, цеху скручування силових жил.

Водночас ТП2 забезпечує електропостачання іншої частини екструзійного цеху полімерної ізоляції, енергетичного цеху, цеху маркування та пакування, лабораторії випробувань кабельної продукції, складу готової продукції, систем освітлення території підприємства.

У підсумку повна потужність навантаження для ТП1 становить $\underline{S}_{ТП1} = 866,9 + j690,1$ кВА.

Для ТП2 відповідне значення повної потужності дорівнює $\underline{S}_{ТП2} = 1970,0 + j560,5$ кВА.

На завершальному етапі виконується визначення навантажень вищого рівня електропостачання на основі обраних трансформаторів і їх параметрів.

2.3. Розрахунок електричних навантажень на шинах 10 кВ трансформаторної підстанції

Ключовим фактором забезпечення надійності електропостачання є коректне та обґрунтоване визначення електричного навантаження на шинах 10 кВ трансформаторної підстанції.

Зазначене електричне навантаження визначається розрахунковим методом, який наведений у додатку Д.

Втрати активної потужності трансформатора ТП1 становлять

$$\Delta P_m = 2 \cdot 7,6 \frac{933,4^2 + (743,0 - 2 \cdot 140)^2}{(2 \cdot 630)^2} + 2 \cdot 2,27 = 19,9 \text{ кВт.} \quad (2.19)$$

					ЛНТУ. 971017.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Втрати реактивної потужності трансформатора ТП1, отримані за результатами розрахунку, складають:

$$\Delta Q_m = \frac{5,5}{100} \cdot \frac{933,4^2 + (743,0 - 2 \cdot 140)^2}{2 \cdot 630} + 2 \cdot \frac{2}{100} \cdot 630 = 65,3 \text{ кВАр.} \quad (2.20)$$

Розрахункове навантаження на стороні напруги 10 кВ трансформаторної підстанції ТП1 визначається з урахуванням втрат і становить:

$$P_{p10} = 866,9 + 19,9 = 886,8 \text{ кВт.} \quad (2.21)$$

Реактивна складова навантаження на стороні 10 кВ ТП1, з урахуванням компенсації та втрат, дорівнює:

$$Q_{p10} = 690,1 - 2 \cdot 140 + 65,3 = 475,4 \text{ кВАр.} \quad (2.22)$$

Аналогічним розрахунковим підходом визначаються втрати потужності трансформатора ТП2 та відповідне навантаження на його стороні напруги 10 кВ. Отримані результати виконаних розрахунків для обох трансформаторних підстанцій узагальнено та наведено в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 — Визначення навантаження на стороні 10 кВ підстанцій

Номер підстанції	P_p , кВт	Q_p , кВАр	S_p , кВА	ΔP_t , кВт	ΔQ_t , кВАр	P_{p10} , кВт	Q_{p10} , кВАр
1	866,9	690,1	1108,0	19,9	65,3	886,8	475,4
2	1970,0	560,5	2048,2	62,3	133,3	2032,3	693,8

У підсумку, сумарне розрахункове навантаження заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт визначається за формулою:

$$S_{p10} = \sqrt{(886,8 + 2032,3)^2 + 851^2} = \sqrt{2919,1^2 + 851^2} = 3040,6 \text{ кВА.} \quad (2.23)$$

На основі отриманого значення повної потужності $S_{p10} = 3040,6$ кВА здійснюється подальший вибір поперечних перерізів кабельних ліній заводу кабельної продукції.

Крім того, з урахуванням розрахованої потужності виконується обґрунтований підбір комутаційного та захисного електрообладнання для зазначених кабельних ліній.

2.4. Побудова картограми навантажень і визначення теоретичного центру навантажень

Забезпечення необхідної надійності електропостачання значною мірою визначається коректністю встановлення теоретичного центру навантаження, що враховує просторовий розподіл споживачів. З цією метою було виконано побудову діаграми навантаження та визначено теоретичний центр навантаження відповідно до методики, наведеної в додатку Е.

Побудову діаграми навантаження здійснено на генеральному плані розташування заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт. При цьому було обрано відповідний масштаб, який забезпечує наочне та коректне відображення коефіцієнтів потужності окремих виробничих цехів. Зокрема, для побудови було прийнято масштаб, що дорівнює 5 умовним одиницям, як оптимальний для графічного відображення.

Визначення радіуса кола для намотувального цеху виконано за розрахунковими залежностями з урахуванням прийнятого масштабу.

Отримано такі значення радіусу для обмоткового цеху

$$r_P = \sqrt{\frac{81,8}{3,14 \cdot 5}} = 2,3 \text{ см}, \quad r_Q = \sqrt{\frac{73,1}{3,14 \cdot 5}} = 2,2 \text{ см} \quad (2.24)$$

Результати розрахунків параметрів діаграми навантаження для заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт зведено до таблиці 2.8 для подальшого аналізу.

Координати центру електричного навантаження визначено за складовими активної та реактивної потужностей із застосуванням аналітичних залежностей.

Для активної складової отримано координати

					ЛНТУ. 971017.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$X_{цР} = \frac{93746}{1483,4} = 63\text{м}, \quad Y_{цР} = \frac{73419}{1483,4} = 49\text{м}. \quad (2.25)$$

Для реактивної складової координати становлять:

$$X_{цQ} = \frac{74106}{1223,4} = 49\text{м}, \quad Y_{цQ} = \frac{58696}{1223,4} = 48\text{м}.$$

Узагальнені результати визначення теоретичного центру навантаження заводу кабельної продукції наведено в таблиці 2.8 для комплексної оцінки.

Таблиця 2.8 – Розрахунок розрахунку картограми навантажень і визначення теоретичного центру навантажень заводу кабельної продукції

Назва приміщення	P _р , кВт	Q _р , кВт	r _р , см	r _Q , см	X, м	Y, м	P _р X	P _р Y	Q _р X	Q _р Y
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Цех виготовлення гнучких проводів	81,84	73,1	11	2,3	18	78	1616	7001	1443	6255
Екструзійний цех полімерної ізоляції	292,1	239,7	4,5	4,1	76	65	24396	20865	20020	17123
Цех виготовлення кабелів	248,9	178,1	4,2	3,5	134	78	36652	21335	26228	15267
Склад металевої сировини	28,1	17,4	1,4	1,1	131	62	4020	1903	2495	1181
Склад полімерних матеріалів	40,9	36,6	1,7	1,6	28	59	1257	2648	1123	2366
Енергетичний цех	408,7	339,1	5,3	4,9	19	45	8527	20196	7076	16758
Склад готової продукції	18,7	14,0	1,1	1,0	55	31	1135	640	851	479
Цех маркування та пакування	15,4	11,9	1,0	0,9	124	24	2076	402	1603	310
Лабораторія випробувань кабельної продукції	3,6	3,1	0,5	0,5	15	8	64	34	55	29
Склад	42,8	59,5	1,7	2,0	49	2	2170	89	2961	121
Цех скручування силових жил	302,5	251,0	4,6	4,2	64	12	21296	3993	17671	3313
Всього	1483,4	1223,4					93746	73419	74106	58696

На рисунку 2.2 наведено побудовану картограму навантаження та положення теоретичного центру навантаження для заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт. Аналіз отриманих результатів показує, що центр силового навантаження даного кабельного заводу розташований у межах зайнятої виробничої зони. З огляду на це прийнято рішення щодо зміщення приймальної підстанції у напрямку до джерела живлення з метою оптимізації схеми електропостачання.

Зокрема, передбачено встановлення підстанції ТП1 у екструзійному цеху полімерної ізоляції, а підстанції ТП2 – у цеху скручування силових жил для забезпечення ефективного розподілу навантаження.

2.5. Вибір схеми зовнішнього електропостачання

2.5.1. Обґрунтування вибору джерела живлення

Відповідно до вимог надійності електропостачання, споживачі електроенергії II категорії на заводі кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт повинні забезпечуватися не менше ніж двома незалежними взаєморезервованими джерелами живлення.

Як основне джерело живлення для заводу кабельної продукції прийнято районну підстанцію, яка розташована на відстані 3,55 км від підприємства та має відповідні технічні характеристики.

З боку напруги 10 кВ зазначена підстанція виконана на двох системах шин і додатково оснащена автоматичним введенням резерву (АВР), що забезпечує безперебійне живлення споживачів заводу.

2.5.2. Вибір номінальної напруги, кількості, перерізу та марки ліній електропередачі

Важливим фактором забезпечення надійної роботи системи електропостачання є коректний вибір параметрів ліній живлення для заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт. Для визначення оптимальних технічних рішень щодо параметрів ліній електропередачі доцільно використовувати методику, наведену у відповідному додатку Ж.

					ЛНТУ. 971017.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 2.2 – Картограми навантажень і теоретичний центр навантажень
заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт

З урахуванням того, що завод кабельної продукції розташований на відстані 3,55 км від джерела живлення та має розрахункову повну потужність 3040,6 кВА, застосування напруги 10 кВ є технічно та економічно доцільним варіантом. Отже, для зовнішнього електропостачання приймається рівень напруги 10 кВ як оптимальний з точки зору мінімізації витрат і втрат електроенергії.

Беручи до уваги наявність електроприймачів I та II категорій надійності, для організації живлення передбачено використання двох паралельних кабельних ліній типу АСБ-10.

Вибір необхідної площі поперечного перерізу кабельної лінії здійснюється на основі техніко-економічного порівняння декількох можливих варіантів виконання мережі.

Розрахункове значення струму навантаження лінії для заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт становить:

					ЛНТУ. 971017.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_p = \frac{3040,6}{\sqrt{3} \cdot 10} = 87,8 \text{ А.} \quad (2.26)$$

Для забезпечення допустимих режимів роботи обирається кабель з алюмінієвими жилами перерізом 35 мм², для якого допустимий тривалий струм становить 115 А.

Розрахований коефіцієнт завантаження кабельної лінії при цьому становить

$$K_3 = \frac{87,9}{115} = 0,76. \quad (2.27)$$

Фактичні втрати потужності в лінії за таких умов складають

$$\Delta P_{\delta} = 0,76^2 \cdot 42 \cdot 3,55 = 87,089 \text{ кВт/км.} \quad (2.28)$$

Річні втрати електроенергії в лінії становлять

$$\Delta W = 87,089 \cdot 1126 = 98,062 \text{ тис. кВт·год/(рік·км).} \quad (2.29)$$

Вартість втрат електроенергії при заданих тарифних умовах складає

$$C_{в.л} = 98,062 \cdot 12,6785 = 1243,273 \text{ тис. грн./(рік·км).} \quad (2.30)$$

Капітальні вкладення у спорудження кабельної лінії з використанням кабелю АСБ-10 3×35 становлять:

$$K_{л} = 2 \cdot 785,696 \cdot 3,55 = 557,844 \text{ тис. грн. /км,} \quad (2.31)$$

Річні амортизаційні відрахування для даного варіанту

$$C_{а.л} = p_a K_{л} = 0,10 \cdot 557,844 = 557,844 \text{ тис. грн./(рік·км).} \quad (2.32)$$

Сумарні річні експлуатаційні витрати для цього варіанту складають

$$C_{ек.л} = 1243,273 + 557,844 = 1801,117 \text{ тис. грн./(рік·км).} \quad (2.33)$$

Загальні приведені витрати для обраного варіанту становлять

$$Z = 0,12 \cdot 557,844 + 1801,117 = 2470,530 \text{ тис. грн./(рік·км).} \quad (2.34)$$

					ЛНТУ. 971017.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Аналогічні розрахунки виконуються також для кабелів із перерізами 35, 50, 70 мм² з метою визначення найбільш економічно доцільного рішення. У таблиці 2.9 наведено узагальнені техніко-економічні показники варіантів системи зовнішнього електропостачання заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт.

Таблиця 2.9 – Узагальнені техніко-економічні показники електропостачання заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт

F, мм ²	35	50	70
I _{тр.доп} , А	115	140	165
ΔP _{ном} , кВт/км	42	44	47
K _{л.пит} , тис.грн./км	785,696	871,439	989,213
K _з	0,50	0,41	0,35
ΔP _p , кВт/км	86,871	61,407	47,223
ΔW, кВт·год/ (рік·км)	97,816	69,144	53,173
C _в , тис.грн./ (рік·км)	1240,163	876,641	674,148
K _л , тис.грн./км	5578,442	6187,215	7023,415
C _а , тис.грн./ (рік·км)	557,844	618,722	702,341
C _е , тис.грн./ (рік·км)	1798,007	1495,362	1376,489
З, тис.грн./ (рік·км)	2467,420	2237,828	2219,299

Порівняльний аналіз результатів показує, що мінімальні приведені витрати відповідають кабелю з перерізом 70 мм² і становлять 2219,299 тис. грн./ (рік·км). Але враховуючи, що витрати для перерізу кабелю 35 мм² не перевищують мінімальні витрати на 10% тому приймаємо до використання перерізу кабелю 35 мм².

Розраховані втрати напруги в лінії складають

$$\Delta U = \frac{3,55}{0,56} \cdot \frac{87,8}{115} = 4,84\%, \quad (2.35)$$

що не перевищує допустимого значення 5% для мереж даного класу напруги.

Отже, обраний тип і переріз кабелю забезпечує необхідну якість електроенергії та допустимі відхилення напруги на шинах 10 кВ заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт.

На рисунку 2.3 представлена схема електричної мережі заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт.

Рисунок 2.3 – Електрична мережа заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт

2.6. Вибір внутрішньозаводської системи електропостачання

Ключовим чинником забезпечення надійної роботи електропостачання є коректно обрана структура системи електропостачання заводу з урахуванням категорій споживачів. З метою гарантованого електропостачання споживачів I та II класів надійності застосовується схема з двома незалежними головними лініями живлення. У разі виходу з ладу однієї з головних ліній електропостачання автоматично здійснюється живлення від резервної лінії без переривання роботи споживачів. Перемикання навантаження при цьому відбувається автоматично на низьковольтну шину трансформатора, яка продовжує функціонувати у штатному режимі.

					ЛНТУ. 971017.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт передбачено використання однієї магістралі ТП1–ТП2, що отримує живлення безпосередньо від джерела електропостачання. Структурно електрична мережа заводу сформована з двох кабельних ліній типу АСБ-10 з алюмінієвими жилами та алюмінієвою оболонкою, із паперовою ізоляцією. Прокладання зазначених кабельних ліній виконується у спеціально підготовлених траншеях відповідно до вимог нормативної документації. Для підтвердження термічної стійкості обраного поперечного перерізу кабелів необхідно виконати розрахунок струмів короткого замикання у відповідних точках мережі.

2.7. Розрахунок струмів короткого замикання для системи електропостачання

2.7.1. Розрахунок трифазного струму короткого замикання

Визначальним чинником надійності електропостачання є точність розрахунку струмів короткого замикання, яка безпосередньо впливає на вибір обладнання та захистів. Застосовуваний метод розрахунку струмів короткого замикання наведено у додатку 3 з урахуванням нормативних положень.

На рисунку 2.4 представлено розрахункову схему та відповідну їй схему еквівалентного кола системи електропостачання заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт. Під час побудови схеми заміщення враховано припущення, що довжиною кабельної лінії між КЛ2 та ТП2 можна знехтувати без суттєвої втрати точності розрахунку. За такого припущення струми короткого замикання у двох точках ТП практично однакові за значенням і можуть вважатися еквівалентними.

Активний та індуктивний опір системи у максимальному режимі роботи

					ЛНТУ. 971017.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

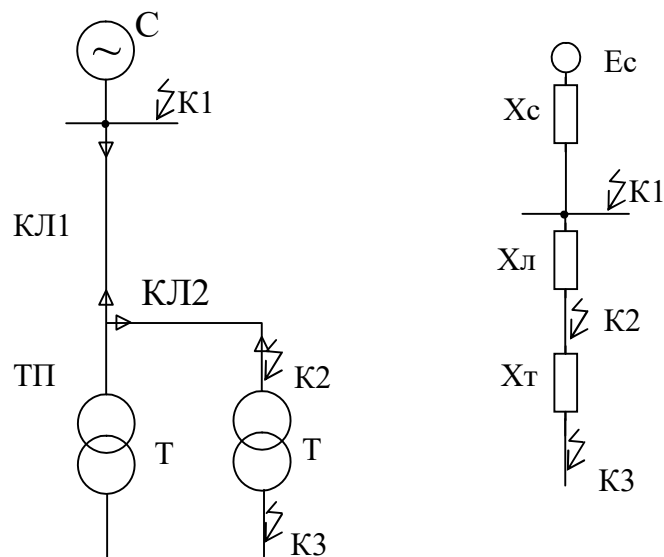


Рисунок 2.4 –Схеми для розрахунку струмів короткого замикання

$$X_{c.max} = \frac{10,5^2}{\sqrt{3} \cdot 141} = 0,86 \text{ Ом}, \quad (2.36)$$

У мінімальному режимі роботи системи еквівалентний опір

$$X_{c.min} = \frac{10^2}{\sqrt{3} \cdot 141} = 0,89 \text{ Ом}. \quad (2.37)$$

Реактивний опір кабельної лінії, визначений з урахуванням її довжини

$$X_{л} = 0,095 \cdot 3,6 = 0,34 \text{ Ом}, \quad (2.38)$$

Активний опір кабелю

$$R_{л} = 0,84 \cdot 3,6 = 2,98 \text{ Ом}. \quad (2.39)$$

Еквівалентний опір силового трансформатора

$$Z_m = \frac{5,5}{100} \cdot \frac{10^2}{630} = 8,73 \text{ Ом}, \quad (2.40)$$

$$R_m = \frac{7,6 \cdot 10^2}{630^2} = 1,91 \text{ Ом}, \quad (2.41)$$

$$X_{т.ном} = \sqrt{8,73^2 - 1,9I^2} = 8,52 \text{ Ом.} \quad (2.42)$$

Максимальне значення струму короткого замикання в точці К2

$$I_{к2max}^{(3)} = \frac{1,05 \cdot 10}{\sqrt{3} \sqrt{(0,86 + 0,34)^2 + 2,98^2}} = 1,89 \text{ кА.} \quad (2.43)$$

Мінімальне значення струму короткого замикання в точці К2

$$I_{к2min}^{(3)} = \frac{10}{\sqrt{3} \sqrt{(0,89 + 0,34)^2 + 2,98^2}} = 1,88 \text{ кА.} \quad (2.44)$$

Для точки К3 максимальний струм короткого замикання дорівнює

$$I_{к3max}^{(3)} = \frac{1,05 \cdot 10}{\sqrt{3} \sqrt{(0,86 + 0,34 + 5,36)^2 + (2,98 + 1,22)^2}} = 0,78 \text{ кА,} \quad (2.45)$$

Мінімальний струм короткого замикання в точці К3 становить

$$I_{к3min}^{(3)} = \frac{10}{\sqrt{3} \sqrt{(0,89 + 0,34 + 5,36)^2 + (2,98 + 1,22)^2}} = 0,78 \text{ кА.} \quad (2.46)$$

Фактичне максимальне значення струму короткого замикання в точці К3 з урахуванням поправкових коефіцієнтів становить

$$I_{к3max.д}^{(3)} = 0,78 \cdot \frac{10}{0,4} = 19,5 \text{ кА.} \quad (2.47)$$

Постійна часу затухання аперіодичної складової струму короткого замикання в точці К2 становить

$$T_{a2} = \frac{1,20}{50 \cdot 2,98} = 0,008 \text{ сек.,} \quad (2.48)$$

Коефіцієнт удару струму короткого замикання в точці К2

$$k_{уд2} = \left(1 + e^{-\frac{0,01}{0,013}} \right) = 1,29, \quad (2.49)$$

					ЛНТУ. 971017.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Значення миттєвого ударного струму короткого замикання в точці К2 при моменті часу $t = 0,01$ с,

$$i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot 1,89 \cdot \left(1 + e^{-\frac{0,01}{0,013}} \right) = 3,44 \text{ кА}, \quad (2.50)$$

Дійсний ударний струм короткого замикання для точки К2:

$$I_{уд2} = 1,89 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,29 - 1)^2} = 2,04 \text{ кА}; \quad (2.51)$$

Аналогічним чином виконано розрахунок параметрів короткого замикання для точки К3

$$T_{a3} = \frac{10,99}{5,92} = 0,0059 \cdot \frac{6,56}{50 \cdot 4,20} = 0,03 \text{ сек.},$$

$$i_{уд3} = \sqrt{2} \cdot 0,78 \left(1 + e^{-\frac{0,01}{0,04}} \right) = 1,90 \text{ кА},$$

$$k_{уд3} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,004}} = 1,73,$$

$$I_{уд3} = 19,5 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,73 - 1)^2} = 27,9 \text{ кА};$$

2.7.2. Перевірка термічної стійкості обраного поперечного перерізу кабелю

Як було обґрунтовано на попередніх етапах розрахунку, необхідно обов'язково здійснити перевірку термічної стійкості вибраного поперечного перерізу кабелю відповідно до встановлених нормативних вимог. Відповідно до положень, наведених у додатку Г, застосовується стандартизований метод перевірки термічної стійкості кабельних ліній.

Фактичний час протікання струму короткого замикання визначається як сума часу спрацювання релейного захисту та часу відключення вимикача.

					ЛНТУ. 971017.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$t=0,1+0,05=0,15 \text{ сек.} \quad (2.52)$$

Оскільки визначений час є меншим за 1 секунду, еквівалентний розрахунковий час враховує лише періодичну складову струму короткого замикання.

З урахуванням прийнятих допущень періодичну складову часу можна прийняти рівною:

$$t_{\pi}=t_{\pi.\pi}=0,4 \text{ сек.}$$

Розрахунковий мінімальний поперечний переріз кабелю, який здатний витримати дію трифазного струму короткого замикання, становить:

$$F_{min} = \frac{1,89}{85} \sqrt{0,4} = 11,1 \text{ мм}^2. \quad (2.53)$$

З отриманого результату випливає, що фактично обраний кабель із поперечним перерізом 35 мм² має суттєвий запас по термічній стійкості. Таким чином, зазначений кабель забезпечує надійну роботу та здатний витримувати дію струмів короткого замикання без термічного пошкодження ізоляції.

2.7.3. Розрахунок струму короткого замикання в мережі 0,4 кВ цеху виготовлення гнучких проводів

Відповідний метод розрахунку струмів короткого замикання детально наведено у додатку И.

На рисунку 2.5 представлено розрахункову схему електричної мережі цеху виготовлення гнучких проводів із зазначенням характерних точок. В подальших розрахунках визначається струм короткого замикання у характерній точці К1 розрахункової схеми.

Еквівалентний реактивний опір системи, приведений до сторони напруги 0,4 кВ, визначається з урахуванням режимів роботи мережі. Для максимального режиму роботи системи значення реактивного опору становить:

					ЛНТУ. 971017.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

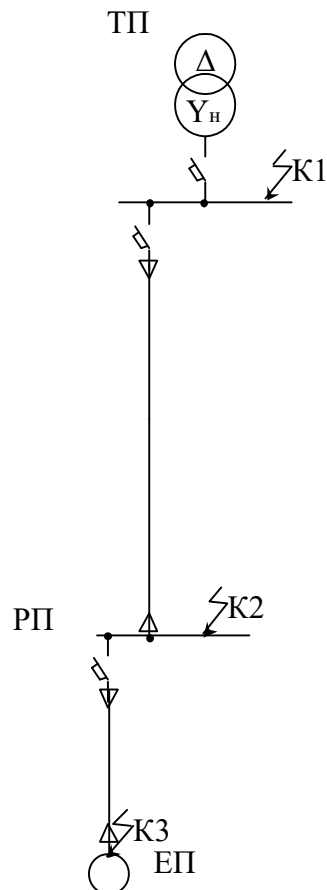


Рисунок 2.5 – Схема мережі

$$X_{\text{сmax}0,4} = 1,20 \cdot \frac{0,4^2}{10^2} = 1,92 \text{ мОм.} \quad (2.54)$$

Для мінімального режиму роботи системи відповідне значення реактивного опору

$$X_{\text{сmin}0,4} = 1,23 \cdot \frac{0,4^2}{10^2} = 1,97 \text{ мОм.} \quad (2.55)$$

Активний опір системи, приведений до рівня напруги 0,4 кВ, становить:

$$R_{\text{с}0,4} = 2,98 \cdot \frac{0,4^2}{10^2} = 4,77 \text{ мОм.} \quad (2.56)$$

Розраховане значення максимального струму трифазного короткого замикання становить:

$$I_{max}^{(3)} = \frac{1,05 \cdot 380}{\sqrt{3} \sqrt{(4,70 + 1,95 + 15)^2 + (3,13 + 8,58)^2}} = 10,0 \text{ кА.} \quad (2.57)$$

Розрахункове значення мінімального струму однофазного короткого замикання визначається відповідно до умов мережі та становить:

$$I_{min}^{(1)} = \frac{220}{\frac{\sqrt{(3 \cdot 1,95 + 3 \cdot 15)^2 + (3 \cdot 11,71)^2}}{3}} = 9,61 \text{ кА.} \quad (2.58)$$

2.8. Вибір обладнання

2.8.1. Вибір обладнання на підстанції джерела живлення

У процесі проєктування системи електропостачання надійність її функціонування значною мірою визначається коректністю та обґрунтованістю вибору електротехнічного обладнання. Під час вибору вакуумних вимикачів було використано методики, наведені у додатку Н. Для лінії електропередачі заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт встановлюємо вакуумний вимикач типу VD4. Отримані результати розрахунків, а також перевірки відповідності обладнання вимогам наведені в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Вибір і перевірка вимикача VD4

Умови вибору	Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{ном.а} \leq U_{ном.а}$	$U_{ном.м} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном.а} = 10 \text{ кВ}$
$I_p \leq I_{ном.а}$	$I_p = 87,8 \text{ А}$	$I_{ном.а} = 630 \text{ А}$
$I_{p.max} \leq I_{ном.а}$	$I_{p.max} = 175,56 \text{ А}$	$I_{ном.а} = 630 \text{ А}$
$I_k^{(3)} \leq I_{вим.ном}$	$I_k^{(3)} = 7,384 \text{ кА}$	$I_{вим.ном} = 20 \text{ кА}$
$i_{уд} \leq i_{дин.ст}$	$i_{уд} = 14,31 \text{ кА}$	$i_{дин.ст} = 52 \text{ кА}$
$i_{ат} \leq \sqrt{2} I_{вим.ном}$	$\sqrt{2} \cdot 7,384 = 10,44 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot 0,3 \cdot 20 = 8,48 \text{ кА}$
$I_k^2 \cdot t_{кз} \leq I_{терм.ст}^2 \cdot t_{терм}$	$7,384^2 \cdot 0,4 = 21,81 \text{ кА}^2 \text{ сек}$	$20^2 \cdot 4 = 1600 \text{ кА}^2 \text{ сек}$

За результатами проведеного аналізу встановлено, що вибраний вимикач повністю відповідає всім заданим технічним критеріям. З урахуванням

отриманих результатів для кожної лінії електропередачі було прийнято автоматичний вимикач типу VD4 як основний комутаційний апарат.

Конструктивно зазначений автоматичний вимикач встановлюється у складі комплектного розподільчого пристрою типу КРУ-ЕС. Дані щодо вибору та перевірки комплектного блоку вимикачів типу КРУ-ЕС детально наведені в таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Вибір і перевірка комірки КРУ-ЕС

Умови вибору	Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{ном.а} \leq U_{ном.м}$	$U_{ном.м} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном.а} = 10 \text{ кВ}$
$I_p \leq I_{ном.а}$	$I_p = 87,8 \text{ А}$	$I_{ном.а} = 630 \text{ А}$
$I_{р.мах} \leq I_{ном.а}$	$I_{р.мах} = 175,56 \text{ А}$	$I_{ном.а} = 630 \text{ А}$
$I_k^2 \cdot t_{кз} \leq I_{терм.ст}^2 \cdot t_{терм.ст}$	$7,384^2 \cdot 0,4 = 21,81 \text{ кА}^2 \text{ сек}$	$20^2 \cdot 4 = 1600 \text{ кА}^2 \text{ сек}$

Вибір трансформаторів струму було виконано із застосуванням методик, наведених у додатку Н. У вторинному колі трансформатора струму передбачено «встановлення таких вимірювальних приладів: амперметра, лічильника активної електроенергії та лічильника реактивної електроенергії» [3]. Розрахункові параметри, а також відповідні каталожні характеристики трансформатора струму наведені в таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – Вибір та перевірка трансформаторів струму на лінії електропередач

Розрахункові дані	Каталожні дані трансформатора струму ТПОЛ-10-0,5/Р
$U_{ном.м} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном.а} = 10 \text{ кВ}$
$I_p = 87,8 \text{ А}$	$I_{ном.а} = 630 \text{ А}$
$I_{р.мах} = 175,56 \text{ А}$	$I_{ном.а} = 630 \text{ А}$
$I_k^{(3)} = 7,384 \text{ кА}$	$k_{дин} I_{Iном} = 160 \cdot 200 = 32 \text{ кА}$
$7,384^2 \cdot 0,4 = 21,81 \text{ кА}^2 \text{ сек}$	$(k_{терм} I_{Iном})^2 t_{терм} = (65 \cdot 200)^2 \cdot 1 = 48 \text{ кА}^2 \cdot \text{сек}$
$S_2 = 0,55 \text{ ВА}$	$S_{2ном} = 0,4 \cdot 5^2 = 10 \text{ ВА}$

Для реалізації вимірювального кола до двох трансформаторів струму підключено амперметр типу ЦА- LB та лічильник електроенергії типу НІК

2303. Розраховане навантаження вторинного кола трансформатора струму наведене у таблиці 2.13.

Таблиця 2.13 – Навантаження вторинного кола трансформатора струму

Обладнання	Тип обладнання	Навантаження фази, ВА		
Амперметр	ЦА- LB	0,5	–	0,5
Лічильник енергії	НІК 2303	0,05	0,05	0,05
Всього		0,55	0,05	0,55

Сумарний опір усього обладнання, підключеного до трансформатора струму

$$r_{\text{прил}} = \frac{S_2}{I_{2\text{ном}}^2} = \frac{0,55}{5^2} = 0,22 \text{ Ом}, \quad (2.59)$$

Опір з'єднувального проводу, що прокладений від трансформатора струму до вимірювальних приладів, визначається за формулою:

$$r_{\text{пр}} = Z_{2\text{ном}} - r_{\text{прил}} - r_{\text{к}} = 0,4 - 0,22 - 0,05 = 0,13 \text{ Ом}.$$

Площу поперечного перерізу з'єднувального проводу доцільно визначати з урахуванням довжини з'єднувального кабелю та допустимих втрат напруги:

$$q = \frac{0,0283 \cdot 3,8}{0,13} = 0,83 \text{ мм}^2. \quad (2.60)$$

На підставі виконаних розрахунків обрано контрольний кабель типу АКРВГ з алюмінієвою жилою та площею поперечного перерізу 2,5 мм².

Вибір трансформатора напруги було здійснено відповідно до методики, наведеної у додатку Н. На стороні 10 кВ, для забезпечення «живлення кіл напруги вимірювального обладнання та систем релейного захисту» [3], встановлено трансформатори напруги типу НАМИ-10. Зазначені трансформатори напруги з ізольованими обмотками керування встановлюються на кожній секції шин розподільного пристрою підстанції. Розрахунок навантаження для вторинної обмотки трансформатора напруги НАМИ-10 наведено у таблиці 2.14.

Таблиця 2.14 – Розрахунок навантаження вторинної обмотки НАМИ-10

Обладнання	Тип обладнання	Потужність обладнання S, ВА
1. Вольтметр	ЦА- LB	2
2. Лічильник енергії	НІК 2303	10
Всього		12

Розрахункові параметри та каталожні характеристики трансформатора напруги НАМИ-10 наведені у таблиці 2.15.

Таблиця 2.15 – Перевірка вибраного трансформатора напруги

Розрахункові дані	Каталожні дані НАМИ-10
$U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$
$S_{2\Sigma} = 12 \text{ ВА}$	$S_{2\text{max}} = 1000 \text{ ВА}$

За результатами перевірки встановлено, що навантаження вторинної обмотки є меншим за номінальну потужність трансформатора. У зв'язку з цим трансформатор напруги типу НАМИ-10 забезпечуватиме роботу з класом точності 0,5 у заданих умовах експлуатації.

Для забезпечення надійного захисту трансформатора напруги передбачено використання запобіжників типу ПКТН-10УЗ.

2.8.2. Вибір обладнання для підстанцій заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт

Забезпечення високої надійності електропостачання заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт значною мірою визначається обґрунтованим і коректним вибором основного та допоміжного обладнання підстанції. Методика вибору вимикачів навантаження, яка застосовується в даному проєкті, наведена у відповідному додатку Н.

На початковому етапі проєктування для встановлення на підстанції заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт було обрано вимикач навантаження типу ВНАп-10/630-20-з з урахуванням його технічних характеристик. Порівняльні дані розрахунків і паспортні характеристики з

каталогу продукції для обраних вимикачів навантаження систематизовано та наведено в таблиці 2.16.

Таблиця 2.16 – Вибір та перевірка вимикачів навантаження ВНАп-10/630-20-з

Розрахункові дані	Каталожні дані вимикача навантаження ВНАп-10/630-20-з
$U_{ном.м} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном.а} = 10 \text{ кВ}$
$I_p = 87,8 \text{ А}$	$I_{ном.а} = 400 \text{ А}$
$I_{р.мах} = 175,56 \text{ А}$	$I_{ном.а} = 400 \text{ А}$
$I_k^{(3)} = 7,384 \text{ кА}$	$I_{вим.ном} = 10 \text{ кА}$
$i_{уд} = 14,31 \text{ кА}$	$i_{дин.ст} = 25 \text{ кА}$
$B_k = 1,35^2 \cdot 0,4 = 7,384^2 \cdot 0,4 = 21,81 \text{ кА}^2 \text{ с}$	$B_{т.ст.} = 100 \text{ кА}^2 \text{ с}$

У вторинному колі трансформатора струму передбачено встановлення вимірювальних приладів, зокрема «амперметра, лічильника активної енергії та лічильника реактивної енергії» [3]. У таблиці 2.17 наведено узагальнені результати розрахунків і технічні характеристики з каталогу для трансформатора струму типу ТІ-2000, який встановлюється в лінії електропередачі.

Таблиця 2.17– Вибір та перевірка трансформаторів струму для підстанцій заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт

Розрахункові дані	Каталожні дані трансформатора струму ТІ-2000
$U_{ном.м} = 0,4 \text{ кВ}$	$U_{ном.а} = 0,4 \text{ кВ}$
$I_p = 87,8 \text{ А}$	$I_{ном.а} = 2000 \text{ А}$
$I_{р.мах} = 175,56 \text{ А}$	$I_{ном.а} = 2000 \text{ А}$
$I_e^{(3)} = 7,384 \text{ кА}$	$k_{дин} I_{1ном} = 160 \cdot 2 = 452,55 \text{ кА}$
$I_e^2 \cdot t_{\text{êç}} = 7,384^2 \cdot 0,4 = 21,81 \text{ кА}^2 \text{ сек}$	$(k_{\text{терм}} I_{1ном})^2 t_{\text{терм}} = (65 \cdot 2)^2 \cdot 1 = 16900 \text{ кА}^2 \cdot \text{сек}$
$S_2 = 0,5 + 0,5 = 0,55 \text{ ВА}$	$S_{2ном} = 0,4 \cdot 5^2 = 10 \text{ ВА}$

Для організації вимірювання параметрів електричної енергії до трансформатора струму підключаються амперметр типу ЦА- LB та лічильник електроенергії типу НІК 2303. Розрахунок навантаження первинної обмотки

трансформатора струму детально представлено у таблиці 2.18 з урахуванням усіх підключених елементів.

Таблиця 2.18 – Навантаження вторинного кола трансформатора струму ТІ-2000

Прилад	Тип	Навантаження фази, ВА		
Амперметр	ЦА- LB	0,5	—	0,5
Лічильник енергії	НІК 2303	0,05	—	0,05
Всього		0,55	—	0,55

Еквівалентний опір обладнання, підключеного до трансформатора струму, визначається розрахунковим шляхом на основі паспортних даних

$$r_{\text{прил}} = \frac{0,55}{5^2} = 0,22 \text{ Ом},$$

Опір з'єднувального проводу становить

$$r_{\text{пр}} = 0,4 - 0,22 - 0,05 = 0,13 \text{ Ом}.$$

Площа поперечного перерізу з'єднувального проводу визначається з урахуванням довжини кабельної лінії

$$q = \frac{0,0283 \cdot 3,8}{0,13} = 0,83 \text{ мм}^2.$$

На основі виконаних розрахунків обирається провід марки АППВ 2,5 з алюмінієвою жилою перерізом 2,5 мм².

На стороні трансформаторної підстанції 0,4 кВ заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт встановлюються автоматичні вимикачі серії NZMB1-4-A відповідного номіналу. Процедура вибору автоматичного вимикача здійснюється з урахуванням виконання ряду обов'язкових умов за струмом навантаження та струмом короткого замикання.

Зокрема, перевіряється виконання умов:

$$1600 > 1 \cdot 1273 \text{ А}, \quad (2.61)$$

$$20 \text{ кА} > 19,5 \text{ кА}. \quad (2.62)$$

					ЛНТУ. 971017.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

У таблиці 2.19 наведено детальні результати розрахунків і технічні характеристики автоматичного вимикача NZMB1-4-A за даними виробника.

Таблиця 2.19– Вибір та перевірка автоматичних вимикачів на ТП

Розрахункові дані		Каталожні дані повітряних автоматичних вимикачів	
Ввідний	Секційний	Ввідний NZMB1-4-A1600	Секційний NZMB1-4-A1000
$U_{ном.м} = 0,4 \text{ кВ}$		$U_{ін.д} = 0,4 \text{ кВ}$	
$I_p = 1273 \text{ А}$	$I_p = 909 \text{ А}$	$I_{ном.а} = 1600 \text{ А}$	$I_{ном.а} = 1600 \text{ А}$
$I_p = 1273 \text{ А}$	$I_p = 909 \text{ А}$	$I_{розч.ном} = 1600 \text{ А}$	$I_{розч.ном} = 1000 \text{ А}$
$I_{к max}^{(3)} = 19,5 \text{ кА}$		$I_{ном.вим} = 20 \text{ кА}$	

Додатково виконано перевірку чутливості обраного розчіплювача до струмів однофазного короткого замикання. Результати перевірки показали виконання умови:

$$1600 < \frac{10,0}{3} = 3333 \text{ А}, \quad (2.63)$$

що підтверджує достатню чутливість захисту.

Таким чином, обраний автоматичний вимикач NZMB1-4-A забезпечує ефективний та надійний захист шин підстанції від коротких замикань. Загалом підібране електротехнічне обладнання гарантує надійне та безперебійне електропостачання заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт.

На рисунку 2.6 наведено принципову схему ТП заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт.

Рисунок 2.6 – Принципова схема ТП заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт

2.8.3. Вибір схеми і конструктивного виконання цеху виготовлення гнучких проводів

Забезпечення надійності електропостачання у цеху виготовлення гнучких проводів істотно визначається технічно коректним і обґрунтованим вибором конфігурації електромережі. Відповідно до методики, наведеної у додатку О., виконано вибір і детальний розрахунок електромережі напругою 0,4 кВ.

За результатами комплексного аналізу просторового розміщення технологічного обладнання в цеху виготовлення гнучких проводів прийнято радіальну схему побудови електричної мережі. У прийнятій схемі передбачено, що три розподільчі пункти отримують живлення безпосередньо від розподільчого пункту трансформаторної підстанції. Передача електричної енергії до споживачів у межах цеху реалізується за допомогою кабельних ліній відповідного типу та перерізу.

					ЛНТУ. 971017.000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Живлення освітлювальних навантажень у даному випадку також здійснюється від головного розподільчого щита з урахуванням вимог до експлуатаційної надійності.

2.9. Розрахунок електричної мережі цеху виготовлення гнучких проводів

Для побудови електричної мережі цеху виготовлення гнучких проводів застосовуються кабелі типу ВВГнг-LS-0,4, які відповідають вимогам пожежної безпеки та надійності. З метою організації розподілу електроенергії у цеху передбачено встановлення розподільних пунктів типу РП 8204 із відповідними технічними характеристиками. Для обґрунтованого вибору обладнання доцільно звернутися до даних, наведених у таблиці 2.20, де представлено результати підбору.

Таблиця 2.20 – Вибір і перевірка розподільних пунктів типу РП 8204

Умови вибору	Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{ном.м} \leq U_{ном.а}$	$U_{ном.м} = 0,38 \text{ кВ}$	$U_{ном.а} = 0,4 \text{ кВ}$
$I_p \leq I_{ном.а}$	$I_p = 86,2 \text{ А}$	$I_{ном.а} = 100 \text{ А}$
$I_k^2 \cdot t_{кз} \leq I_{терм.ст}^2 \cdot t_{терм.ст}$	$10,0^2 \cdot 0,1 = 10,00 \text{ кА}^2 \text{ с}$	$10^2 \cdot 4 = 400 \text{ кА}^2 \text{ сек.}$

При цьому площа поперечного перерізу провідників у ділянці мережі ТП–РП1 задовольняє умову допустимого струмового навантаження:

$$10060 \text{ А} > 45,1 \text{ А.} \quad (2.64)$$

Додатково виконується перевірка втрат напруги для обраних провідників із урахуванням довжини лінії та електричних параметрів кабелю. У результаті розрахунку встановлено, що відносна втрата напруги становить

$$\Delta U = \frac{25,9 \cdot 1,95 + 17,4 \cdot 0,095}{0,4} \cdot 20 = 0,65 \%, \quad (2.65)$$

що є меншим за допустиме значення 5 %

У таблиці 2.21 наведено результати вибору площ поперечного перерізу кабелів для системи живлення цеху виготовлення гнучких проводів.

Таблиця 2.21 – Вибір площ поперечного перерізу кабелів у цеху виготовлення гнучких проводів

Лінія	$P_{p\Sigma}$, кВт	$Q_{p\Sigma}$, кВАр	I_p , А	S , мм ²	$I_{тр.доп}$, А	ℓ , м	R_{num} , МОм/м	X_{num} , МОм/м	ΔU , %
ТП-РП1	25,9	17,4	45,1	16	60	20	1,95	0,095	0,65
ТП-РП2	16,6	11,87	29,5	6	32	30	5,21	0,100	1,65
ТП-РП3	53,6	26,38	86,2	35	90	20	0,894	0,088	0,63

В таблиці 2.22 наведені перерізи проводів системи електропостачання цеху виготовлення гнучких проводів.

Таблиця 2.22 – Вибір перерізу струмопровідних частин цеху виготовлення гнучких проводів

Лінія	P_p , кВт	$\cos\varphi$	I_p , А	S , мм ²	$I_{тр.доп}$, А	ℓ , м	R_{num} , МОм/м	X_{num} , МОм/м	ΔU , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
РП1-Вентилятор місцевої витяжної вентиляції	4,6	0,8	8,3	2,5	19	1,5	12,5	0,116	0,73
РП1-Вентилятор місцевої витяжної вентиляції	4,6	0,8	8,3	2,5	19	14	12,5	0,116	1,17
РП1-Вентилятор місцевої витяжної вентиляції	4,6	0,8	8,3	2,5	19	18	12,5	0,116	1,30
РП1-Вентиляційна установка виробничого залу	2,4	0,71	4,9	2,5	19	1,5	12,5	0,116	0,68
РП1-Вентиляційна установка виробничого залу	2,4	0,71	4,9	2,5	19	11	12,5	0,116	0,85
РП1-Лабораторний стенд перевірки ізоляції hs-21	6,4	0,7	13,2	2,5	19	4,5	12,5	0,116	0,95
РП1-Маркувальний принтер для кабелю НК-240	5,4	0,7	11,1	2,5	19	9	12,5	0,116	0,98
РП1-Верстат різання проводу AS251	4,4	0,8	7,9	2,5	19	16,5	12,5	0,116	1,31
РП1-Електричний підйомний тельфер НІ-300	5,7	0,55	15,0	2,5	19	12	12,5	0,116	1,19
РП2-Вентилятор місцевої витяжної вентиляції	6,7	0,8	12,1	2,5	19	21,9	12,5	0,116	1,94
РП2-Вентилятор місцевої витяжної вентиляції	6,7	0,8	12,1	2,5	19	26	12,5	0,116	2,99
РП2-Намотувальний верстат малого діаметра GH-125	1,8	0,7	3,7	2,5	19	24	12,5	0,116	1,18
РП2-Автоматичний намотувальний верстат FA-25	4,4	0,7	9,1	2,5	19	31,5	12,5	0,116	2,23
РП2-Екструдер малої продуктивності JIJ-55	1,3	0,7	2,7	2,5	19	30	12,5	0,116	1,28

Продовження таблиці 2.22

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
РП2-Скручувальний верстат для багатодрових жил AS-10	3,6	0,55	9,3	2,5	19	39	12,5	0,116	2,07
РП2-Крутильна машина середньої продуктивності SFH-020	3,3	0,37	12,7	2,5	19	19,5	12,5	0,116	1,24
РП3-Автоматичний пристрій укладання проводу в бухти HS44	3,9	0,7	8,0	2,5	19	51	12,5	0,116	1,72
РП3-Електричний підіймач котушок AF01	3,2	0,7	5,8	2,5	19	51	12,5	0,116	1,20
РП3-Компресор пневмосистеми	15,1	0,71	30,7	6	32	52,5	5,21	0,100	2,41
РП3-Барaban накладання ізоляції SHF-01	1,8	0,65	4,0	2,5	19	18	12,5	0,116	0,74
РП3-Крутильна машина великої продуктивності SH-D	2,6	0,7	5,4	2,5	19	10,5	12,5	0,116	0,65
РП3-Автомат охолодження та калібрування кабелю H21	4,4	0,7	9,1	2,5	19	3	12,5	0,116	0,61
РП3-Сканер контролю діаметра проводу DH	17,1	0,6	41,1	10	42	4,5	3,12	0,099	0,62
РП3-Автомат для обв'язування бухт дротом H3	4,8	0,70	9,9	2,5	19	21	12,5	0,116	1,09
РП3-Сушильна шафа для полімерної ізоляції	3,6	0,74	7,0	2,5	19	12	12,5	0,116	0,72
РП3-Вентилятор місцевої витяжної вентиляції	1,7	0,85	2,9	2,5	19	4,5	12,5	0,116	0,55

Загальна структура електричної мережі цеху виготовлення гнучких проводів графічно відображена на рисунку 2.7.

Рисунок 2.7 – Схема електричної мережі цеху виготовлення гнучких проводів

					ЛНТУ. 971017.000 ПЗ				Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					49

2.9.1. Вибір освітлювальної мережі в цеху виготовлення гнучких проводів

Забезпечення надійності електроживлення освітлювальних приладів у значній мірі визначається коректним розрахунком площі поперечного перерізу провідників освітлювальної мережі. Визначення площі поперечного перерізу провідників здійснюється за критерієм «мінімуму матеріалу провідника» [1], при цьому конкретна методика детально наведена в додатку Н.

Момент навантаження всієї освітлювальної мережі цеху виготовлення гнучких проводів визначається:

$$M_{\text{РШ-ЩО}} = 0,14 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 25 = 28,0 \text{ кВт} \cdot \text{м}. \quad (2.66)$$

Визначення моменту навантаження першого ряду освітлювальних ламп у цеху виготовлення гнучких проводів здійснюється за формулою:

$$m_{\text{ЩО-1}} = 0,14 \cdot 4 \cdot \left(12,5 + \frac{(4-1) \cdot 2,5}{2} \right) = 9,1 \text{ кВт} \cdot \text{м}. \quad (2.67)$$

Аналогічним розрахунковим підходом визначається момент навантаження другого ряду ламп, що дозволяє забезпечити повноту аналізу. Отримані результати проведених розрахунків систематизовано та наведено у таблиці 2.23 для подальшого використання. Графічне представлення плану освітлювальної мережі цеху виготовлення гнучких проводів наведено на рисунку 2.8 для наочності.

Розрахунок площі поперечного перерізу кабелю основної ділянки мережі виконується за відповідною залежністю:

$$S_{\text{РШ-ЩО}} = \frac{28,0 + 1,39 \cdot 105,9}{44 \cdot 4} = 1,0 \text{ мм}^2. \quad (2.68)$$

На наступному етапі приймається попереднє значення площі поперечного перерізу провідника $s_{\text{ТП-1}} = 2,5 \text{ мм}^2$ з урахуванням стандартних типорозмірів.

					ЛНТУ. 971017.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 2.8 – План освітлювальної мережі цеху виготовлення гнучких проводів

Фактичні втрати напруги на розрахунковій ділянці РШ–ЩО визначаються відповідно

$$\Delta u_{\text{РШ-ЩО}} = \frac{28,0}{44 \cdot 4} = 0,3 \%. \quad (2.69)$$

Розрахунково допустимі втрати напруги на ділянці ЩО-1 уточнюються з урахуванням попередніх втрат і становлять:

$$\Delta u_{\text{ЩО-1}} = 4 - 0,3 = 3,75\%. \quad (2.70)$$

Розрахована площа поперечного перерізу кабелів першого ряду освітлювальної мережі ЩО-1: визначається за формулою:

$$s_{\text{ЩО-1}} = \frac{9,1}{7,4 \cdot 3,75} = 0,33 \text{ мм}^2. \quad (2.71)$$

З урахуванням нормативних вимог та стандартних значень остаточно приймається площа поперечного перерізу провідника $s_{\text{ТП-1}} = 2,5 \text{ мм}^2$.

Підсумкові результати виконаних розрахунків зведено у таблицю 2.23 для узагальнення.

Обрана площа поперечного перерізу кабелів освітлювальної мережі в цеху виготовлення гнучких проводів забезпечує допустимий рівень напруги безпосередньо на клеммах світильників.

					ЛНТУ. 971017.000 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.23 – Вибір площі поперечного перерізу освітлювальної мережі в цеху виготовлення гнучких проводів

Лінія	$\ell_{до}, \text{ м}$	$m_{ЩО-i}, \text{ кВт}\cdot\text{м}$	$S_{ЩО-i}, \text{ мм}^2$	$S_{ЩО-i.пр}, \text{ мм}^2$
ЩО-1	12,5	9,1	0,33	2,5
ЩО-2	13,5	9,7	0,35	2,5

2.9.2. Вибір автоматичних вимикачів цеху виготовлення гнучких проводів

Забезпечення надійності електропостачання цеху виготовлення гнучких проводів значною мірою залежить від правильного та обґрунтованого вибору автоматичних вимикачів. Методика вибору автоматичних вимикачів для умов даного цеху детально наведена у додатку Р і враховується при розрахунках.

Внутрішня електрична мережа системи електропостачання потребує обов'язкового захисту від перевантажень у нормальних та аварійних режимах. З цією метою для ефективного захисту мережі від струмів короткого замикання та перевантажень застосовуються автоматичні вимикачі відповідного типу. У таблиці 2.24 наведено узагальнені результати вибору автоматичних вимикачів для підстанції заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт. У таблиці 2.25 представлено результати вибору автоматичних вимикачів для окремих електроприймачів у цеху виготовлення гнучких проводів.

Таблиця 2.24 – Вибір автоматичних вимикачів для підстанції заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт

Лінія	$I_p, \text{ А}$	$I_{пер}, \text{ А}$	Тип захисного пристрою	$I_{в.ном}, \text{ А}$	$I_{розч.ном}, \text{ А}$	$I_{с.в}, \text{ А}$
ТП-РП1	45,1	135,1	NZMB1-4-A50	160	50	500
ТП-РП2	29,5	703,8	NZMB1-4-A32	160	32	320
ТП-РП3	86,2	311,9	NZMB1-4-A100	160	100	1000

Таблиця 2.25 – Вибір автоматичних вимикачів для кожного приймача у цеху виготовлення гнучких проводів

Лінія	$I_p, \text{ А}$	$I_n, \text{ А}$	Тип захисного апарата	$I_{в.ном}, \text{ А}$	$I_{розч.ном}, \text{ А}$	$I_{с.в}, \text{ А}$
1	2	3	4	5	6	7
РП1-Вентилятор місцевої витяжної вентиляції	8,3	52	NZMB1-4-A10	160	10	100

Продовження таблиці 2.25

1	2	3	4	5	6	7
РП1-Вентиляційна установка виробничого залу	4,9	23,5	NZMB1-4-A5	160	5,0	50
РП1-Лабораторний стенд перевірки ізоляції hs-21	13,2	87	NZMB1-4-A16	160	16	160
РП1-Маркувальний принтер для кабелю NK-240	11,1	48	NZMB1-4-A12,5	160	13	125
РП1-Верстат різання проводу AS251	7,9	47,5	NZMB1-4-A8	160	8	80
РП1-Електричний підйомний тельфер HJ-300	15,0	76	NZMB1-4-A16	160	16	160
РП2-Компресор пневмосистеми	12,1	52	NZMB1-4-A12,5	160	12,5	125
РП2-Намотувальний верстат малого діаметра GH-125	3,7	11	NZMB1-4-A4	160	4,0	40
РП2-Автоматичний намотувальний верстат FA-25	9,1	54,5	NZMB1-4-A10	160	10,0	100
РП2-Екструдер малої продуктивності JUJ-55	2,7	13	NZMB1-4-A3,2	160	3,2	32
РП2-Скручувальний верстат для багатодротових жил AS-10	9,3	48,5	NZMB1-4-A10	160	10	100
РП2-Крутильна машина середньої продуктивності SFH-020	12,7	657	NZMB1-4-A16	160	16,0	160
РП3-Автоматичний пристрій укладання проводу в бухти HS44	8,0	32,5	NZMB1-4-A10	160	10	100
РП3-Електричний підйомач катушок AF01	5,8	18,5	NZMB1-4-A6,3	160	6	63
РП3-Компресор пневмосистеми	30,7	192,5	NZMB1-4-A32	160	32	320
РП3-Барaban накладання ізоляції SHF-01	4,0	18,5	NZMB1-4-A4	160	4	40
РП3-Крутильна машина великої продуктивності SH-D	5,4	18,5	NZMB1-4-A6,3	160	6	63
РП3-Автомат охолодження та калібрування кабелю H21	9,1	46	NZMB1-4-A10	160	10	100
РП3-Сканер контролю діаметра проводу DH	41,1	228	NZMB1-4-A50	160	50	500
РП3-Автомат для обв'язування бухт дротом H3	9,9	38	NZMB1-4-A10	160	10	100
РП3-Сушильна шафа для полімерної ізоляції	7,0	22,5	NZMB1-4-A8	160	8	80
РП3-Вентилятор місцевої витяжної вентиляції	2,9	7,5	NZMB1-4-A3,2	160	3,2	32

					ЛНТУ. 971017.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

РОЗДІЛ 3

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВЕРСТАТУ РІЗАННЯ ПРОВОДУ AS251

3.1. Розрахунок головного приводу верстату різання проводу AS251

Визначальним чинником забезпечення надійної роботи верстату різання проводу AS251 є коректний і технічно обґрунтований вибір його головного приводного двигуна. Загальноприйнята методика розрахунку параметрів головного приводу наведена у додатку С та використовується для подальших інженерних обчислень.

Розрахунок потужності головного приводного двигуна виконується на основі визначення потужності різання за відповідною емпіричною залежністю:

$$P_p = 0,30 \cdot 11^{0,28} \cdot 0,4^{0,3} \cdot 0,5^{0,4} \cdot 240^{0,35} = 2,30 \text{ кВт.} \quad (3.1)$$

Необхідна встановлена потужність електродвигуна визначається з урахуванням коефіцієнтів запасу та ефективності приводу:

$$P_d = \frac{2,30}{0,75} = 3,07 \text{ кВт.} \quad (3.2)$$

Сумарні енергетичні втрати верстата при роботі під навантаженням обчислюються як різниця між підведеною та корисною потужністю:

$$\Delta P_{\text{в.ном}} = \frac{2,30}{0,75} - 2,30 = 0,77 \text{ кВт.} \quad (3.3)$$

Потужність електродвигуна у режимі холостого ходу приймається рівною втратам, що виникають під час простою обладнання:

$$P_{\text{д.п}} = 0,75 \cdot 0,77 = 0,58 \text{ кВт.} \quad (3.4)$$

Розрахункова еквівалентна потужність двигуна визначається з урахуванням режиму роботи та тривалості навантаження:

					ЛНТУ. 971017.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Комзюк Д.С.			Електропостачання заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт. Пояснювальна записка.	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Гадай А.В.				Д	54	6
						ФАБЕ, гр. ЕЕ-41		
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.						
Затверд.		Волинець В.І.						

$$P_{\text{ном}} = \sqrt{\frac{3,07^2 \cdot 1 + 0,58^2 \cdot 1}{1 + 1}} = 2,21 \text{ кВт.} \quad (3.5)$$

Порівняльний аналіз отриманих значень дозволяє сформулювати критерій вибору електродвигуна за потужністю::

$$3 \text{ кВт} > 2,21 \text{ кВт.} \quad (3.6)$$

Оцінка необхідної швидкості обертання ротора двигуна здійснюється на основі кінематичних параметрів приводу:

$$n_{\text{ном}} = \frac{60 \cdot 100}{\pi \cdot 0,200} = 9549 \text{ об/хв.} \quad (3.7)$$

На підставі проведених розрахунків та технічних вимог до приводу обирається електродвигун типу АІР 90L2 з номінальною потужністю 3 кВт і частотою обертання 2860 об/хв.

3.2 Розрахунок і вибір пристроїв схеми керування

Загалом, надійність роботи верстату різання проводу AS251 у значній мірі визначається коректністю та обґрунтованістю вибору електричних апаратів і пристроїв керування. У межах даного розділу методики виконання розрахунків і процедури вибору детально розглянуті та систематизовані у додатку Р для забезпечення однозначності застосування.

Основними критеріями, що використовуються під час вибору магнітного пускача, є такі параметри:

1) номінальна напруга:

$$0,38 \text{ кВ} < 0,4 \text{ кВ,} \quad (3.8)$$

2) номінальний струм:

$$6,3 \text{ А} < 9 \text{ А,} \quad (3.9)$$

3) струм уставки теплового реле:

					ЛНТУ. 971017.000 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$6,3 \text{ A} < 6 \dots 6,5 \text{ A}, \quad (3.10)$$

Підсумковий вибір магнітних пускачів для відповідних електродвигунів наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 — Вибір магнітних пускачів для верстату різання проводу AS251

Двигун	Дані каталогу продукції двигуна				Дані каталогу магнітного пускача	
	$P_{\text{д.ном}}, \text{ кВт}$	$\eta_{\text{д.ном}}, \%$	$\cos\varphi$	$I_{\text{д.ном}}, \text{ А}$	Тип	$I_{\text{ном.а}}, \text{ А}$
АИР 90L2 головного приводу	3	82,6	0,87	6,3	FC-1/9A	9
АИР 63B2 змащення	0,55	72,7	0,82	1,4	FC-1/6A	6
АИР 71A2 насоса охолодження	0,75	75	0,83	1,8	FC-1/6A	6

Підбір теплових реле виконується за аналогічним підходом і узагальнено представлена у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 — Підібрані теплові реле для верстату різання проводу AS251

Двигун	Інформація з каталогу двигунів		Теплове реле		
	$P_{\text{д.ном}}, \text{ кВт}$	$I_{\text{д.ном}}, \text{ А}$	Тип	$I_{\text{ном.а}}, \text{ А}$	$I_{\text{уст}}, \text{ А}$
АИР 90L2 головного приводу	3	6,3	FTR32B 6-6,5	6,5	6...6,5
АИР 63B2 змащення	0,55	1,4	FTR32B 1,3-1,8	1,8	1,3...1,8
АИР 71A2 насоса охолодження	0,75	1,8	FTR32B 1,7-1,8	1,8	1,7...1,8

Сумарне значення робочого струму верстату різання проводу AS251 визначається таким чином:

$$I_p = 6,3 + 1,4 + 1,8 = 9,5 \text{ A}, \quad (3.11)$$

Максимальний піковий верстату різання проводу AS251:

$$I_{\text{пик}} = 7,5 \cdot 6,3 + 1,4 + 1,8 = 50,7 \text{ A}. \quad (3.12)$$

Узагальнені результати розрахунків та дані каталогу для автоматичного вимикача NZMB1-4-A6,3, який встановлюється на верстат різання проводу AS251, наведено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Вибір і перевірка автоматичних вимикачів, встановлених на верстаті різання проводу AS251

Розрахункові дані	Каталожні дані автоматичного вимикача NZMB1-4-A10
$U_{\text{ном.м}} = 0,38 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном.а}} = 0,4 \text{ Кв}$
$I_p = 9,5 \text{ А}$	$I_{\text{ном.а}} = 160 \text{ А}$
$I_p = 9,5 \text{ А}$	$I_{\text{розч.ном}} = 10,0 \text{ А}$
$I_{\text{пік}} = 50,7 \text{ А}$	$I_{\text{с.в}} = 10 \cdot 10,0 = 100 \text{ А}$

3.3 Вибір мережі живлення верстату різання проводу AS251

Забезпечення надійної роботи верстату різання проводу AS251у значній мірі визначається коректністю вибору схеми та параметрів мережі живлення. У зв'язку з цим для розрахунків і проєктування застосовується методика, наведена у додатку О.

Для робочого струму верстата $I_p = 9,5 \text{ А}$ доцільно було обрано кабель типу ВВГнг-LS-0,4 з перерізом жил $4 \times 2,5 \text{ мм}^2$ та допустимим тривалим струмом $I_{\text{доп}} = 19 \text{ А}$.

Втрати активної напруги у трансформаторі ТП визначаються залежністю:

$$\Delta U_{\text{т.а}} = \frac{12,2}{630} \cdot 100\% = 1,2\%, \quad (3.13)$$

Втрати реактивної напруги у трансформаторі ТР розраховуються за виразом:

$$\Delta U_{\text{т.р}} = \sqrt{5,5^2 - 1,2^2} = 4,3\%, \quad (3.14)$$

Сумарні втрати напруги на трансформаторі становлять:

$$\Delta U_{\text{т}} = 0,74 (1,2 \cdot 0,8 + 4,3 \cdot 0,6) = 2,9\%. \quad (3.15)$$

					ЛНТУ. 971017.000 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Втрати напруги в лінії живлення до цеху виготовлення гнучких проводів прийнято на рівні $\Delta U_{\text{л}} = 0,65 \%$.

Втрати напруги у мережі живлення верстату різання проводу AS251 визначаються виразом:

$$\Delta U_{\text{л-в}} = \sqrt{3} \cdot 7,9 \cdot 47 \cdot (12,5 \cdot 0,8 + 0,116 \cdot 0,75) \cdot 100 / 0,4 = 1,63 \%, (3.16)$$

Загальні сумарні втрати напруги в системі живлення становлять:

$$\Delta U = 5,18 + 0,65 + 1,63 = 7,46 \% < \Delta U_{\text{доп}} = 10\%. (3.17)$$

Напруга холостого ходу трансформатора ТП визначається як:

$$U_{02} = 1,05 \cdot 0,38 = 0,4 \text{ кВ}, (3.18)$$

Активний опір трансформатора ТП становить:

$$r_{\text{т}} = \frac{7,6 \cdot 0,4^2 \cdot 10^3}{630^2} = 1,95 \text{ мОм}, (3.19)$$

Реактивний опір трансформатора ТП дорівнює:

$$x_{\text{т}} = \frac{5,5 \cdot 0,4^2 \cdot 10^3}{100 \cdot 630} = 8,58 \text{ мОм}. (3.20)$$

Активний та індуктивний опір електричної мережі розраховуються таким чином:

$$r_{\text{м}} = 12,5 \cdot 47 = 587,5 \text{ мОм}, (3.21)$$

$$x_{\text{м}} = 0,116 \cdot 47 = 5,5 \text{ мОм}. (3.22)$$

Сумарний активний опір мережі:

$$\Sigma r = 1,95 + 20,4 + 587,5 = 609,9 \text{ мОм}, (3.23)$$

$$\Sigma x = 8,58 + 3,73 + 5,5 = 17,8 \text{ мОм}. (3.24)$$

Повний опір мережі визначається як:

					ЛНТУ. 971017.000 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Z = \sqrt{609,9^2 + 17,8^2} = 610,11 \text{ мОм.} \quad (3.25)$$

Розрахунковий струм короткого замикання становить:

$$I_{\text{кз}}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 610,1} = 400 \text{ А.} \quad (3.26)$$

Необхідний переріз провідника визначено як:

$$F_{\text{min}} = 400 \cdot \frac{\sqrt{0,25}}{78} = 2,56 \text{ мм}^2 \approx F = 2,5 \text{ мм}^2. \quad (3.27)$$

Електроживлення верстату різання проводу AS251 реалізується кабелем типу ВВГнг-LS-0,4 4×2,5.

					ЛНТУ. 971017.000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

САПР

Забезпечення надійності електропостачання безпосередньо визначається коректністю встановлення та розрахунку всіх параметрів електричної системи в цілому. Для мінімізації ймовірності розрахункових та механічних помилок, а також для суттєвого прискорення етапу проектування, була розроблена спеціалізована таблиця розрахунку діаграми електричного навантаження для заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт у середовищі MS Excel. Отримані результати виконаного розрахунку діаграми навантаження наведено на рисунку 4.1.

		Рр.сум, кВт	Qр.сум, кВАр	R _p	R _q	X	Y	SPiXi	SPiYi	SQiXi	SQiYi	SSiXi	SSiYi
1	Цех виготовлення гнучких	81,8	73,1	2,3	2,2	17	79	1391	6465	1243	5776	373	173
2	Екструзійний цех полімер	292,1	239,7	4,3	3,9	75	66	21909	19280	17979	15822	28342	2494
3	Цех виготовлення кабелів	248,9	178,1	4,0	3,4	135	79	33595	19659	24040	14068	643	37
4	Склад металевої сировини	28,1	17,4	1,3	1,1	130	63	3647	1767	2263	1097	69032	3345
5	Склад полімерних матері	40,9	36,6	1,6	1,5	27	58	1105	2373	987	2120	2963	636
6	Енергетичний цех	408,7	339,1	5,1	4,6	18	46	7356	18798	6104	15598	7075	1808
7	Склад	18,7	14,0	1,1	0,9	56	32	1047	598	785	449	17136	979
8	Цех маркування та пакув	15,4	11,9	1,0	0,9	125	25	1924	385	1484	297	9323	186
9	Лабораторія випробуван	3,6	3,1	0,5	0,4	16	9	58	33	49	28	305	17
10	Склад готової продукції	42,8	59,5	1,7	1,9	48	3	2053	128	2854	178	1585	9
11	Цех скручування силових	302,5	251,0	4,4	4,0	65	13	19663	3933	16316	3263	3567	71
	Сума	1483,4	1223,4					93746	73419	74106	58696	140343,56	97591,2
							Xo	63		61		72,87	
							Yo	49		48		50,67	

Рисунок 4.1 – Результати розрахунку картограми навантаження заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт

Використання програмного комплексу DIALux дозволило визначити оптимальну кількість світильників типу WHITECROFT 17K , необхідних для забезпечення нормативного рівня освітлення у цеху виготовлення гнучких проводів. Підсумкові результати світлотехнічного розрахунку та моделювання наведено на рисунках 4.2–4.4.

					ЛНТУ. 971017.000 ПЗ						
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт. Пояснювальна записка.	Літ.		Арк.		Аркушів	
Розроб.	Комзюк Д.С.					Д		60		4	
Перевір.	Гадай А.В.										
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.					ФАБЕ, гр. ЕЕ-41					
Затверд.	Волинець В.І.										

WHITECROFT AET6NY14K AERIAL TWIN 65 / Паспорт світильника

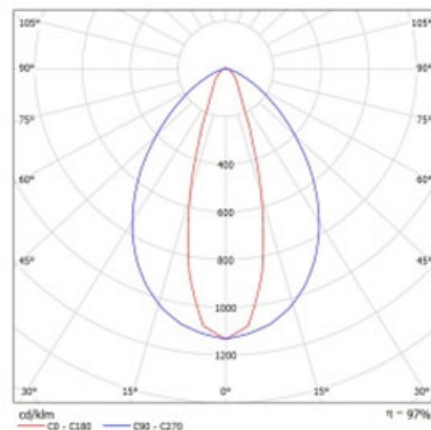
Место выхода света 1:



Классификация светильников по CIE: 99
CIE Flux Code: 72 92 98 99 98

Supended IP65 IK08 LED twin cell luminaire with aluminium body, clear optics and integral 15° lenses for precise light distribution specifically for aisles and racking. Four point suspension - as Whitecroft Lighting AERIAL TWIN 65 NARROW

Emergency lumen output: • 400 lumens



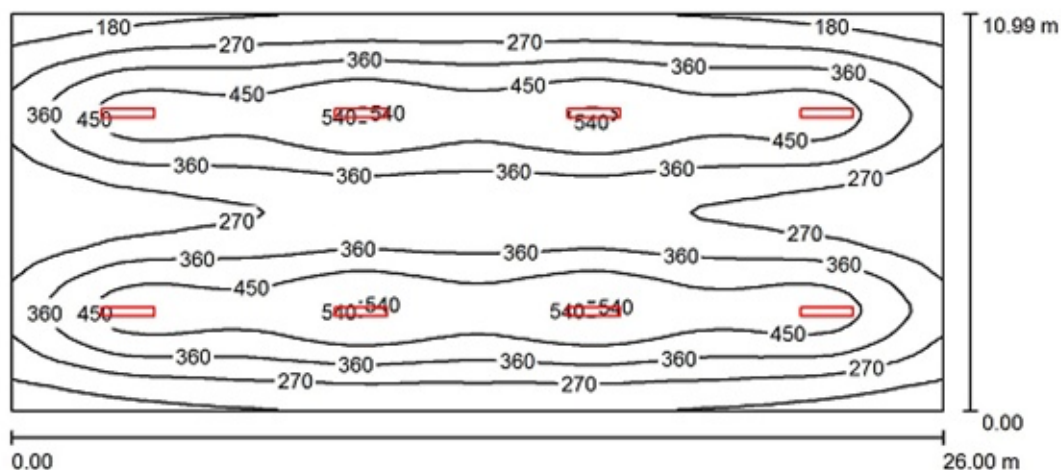
Место выхода света 1:

[illegible]

Рисунок 4.2 – Основні технічні характеристики WHITECROFT 17K
AERIAL TWIN 65

Оператор
Телефон
Факс
Электронная почта

Автоматный цех / Резюме



Высота помещения: 8.000 m, Монтажная высота: 7.600 m,
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:186

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{cp}
Рабочая плоскость	/	350	125	552	0.356
Полы	20	337	144	490	0.427
Потолок	70	58	43	136	0.728
Стенки (4)	50	107	50	273	/

Рабочая плоскость:

Высота: 0.850 m
Растр: 128 x 64 Точки
Краевая зона: 0.000 m

Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ (Светильник) [lm]	Φ (Лампы) [lm]	P [W]
1	8	WHITECROFT AET6NY14K AERIAL TWIN 65 (1.000)	17889	18350	162.0
Всего:			143112	146800	1296.0

Удельная подсоединенная мощность: $4.54 \text{ W/m}^2 = 1.30 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 285.75 m^2)

Рисунок 4.3 – Горизонтальная схема організації системи освітлення у
цеху виготовлення гнучких проводів

Автоматний цех / 3D - визуализация

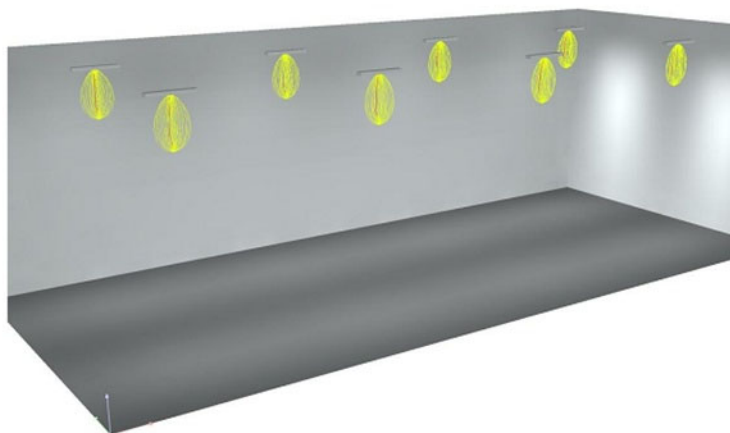


Рисунок 4.4 – Тривимірна візуалізація простору цеху виготовлення гнучких проводів з урахуванням освітлення

					ЛНТУ. 971017.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

РОЗДІЛ 5

ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА

Розрахунок системи заземлення у цеху виготовлення гнучких проводів виконується відповідно до методики, наведеної в додатку Т, з урахуванням нормативних вимог і прийнятих технічних припущень. Згідно з вимогами до електричних мереж, у цеху виготовлення гнучких проводів опір системи заземлення повинен бути меншим або рівним 10 Ом для забезпечення електробезпеки.

До вихідних розрахункових даних належать такі параметри: верхній питомий опір ґрунту становить 51 Ом·м, нижній питомий опір ґрунту — 61 Ом·м, ширина кутика — 40 мм, кліматична зона — 2.

Розрахунковий питомий опір ґрунту для горизонтальних і вертикальних заземлювальних провідників становить

$$\rho_p = \frac{51 \cdot 1,5 \cdot 61 \cdot 2,53}{51 \cdot 1,5 \cdot (2,53 - 1,01 + 0,71) + 61 \cdot (1,01 - 0,71)} = 38,6 \text{ Ом}\cdot\text{м.} \quad (0.1)$$

Опір одного вертикального заземлювального електрода становить

$$r_v = \frac{0,366 \cdot 38,6}{4} \left(\lg \frac{2 \cdot 2,53}{0,95 \cdot 0,04} + \lg \frac{4 \cdot 1,98 + 2,53}{4 \cdot 1,98 - 2,53} \right) = 12,7 \text{ Ом.} \quad (0.2)$$

Орієнтовна кількість вертикальних заземлювальних електродів дорівнює

$$n_{\text{пр}} = \frac{12,7}{10 \cdot 0,72} = 1,95 \text{ шт,} \quad (0.3)$$

За результатами інженерного округлення приймаємо кількість вертикальних електродів, що дорівнює 2 шт.

Орієнтовна довжина горизонтального заземлювального провідника, який з'єднує вертикальні електроди між собою, становить

$$\ell_r = (2 - 1) \cdot 2,53 = 2,5 \text{ м.} \quad (0.4)$$

					ЛНТУ. 971017.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт. Пояснювальна записка.	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.	Комзюк Д.С.					Д	64	2
Перевір.	Гадай А.В.							
						ФАБЕ, гр. ЕЕ-41		
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.							
Затверд.	Волинець В.І.							

Опір горизонтального заземлювального провідника становить

$$r_r = \frac{0,366 \cdot 3,5 \cdot 51}{2,5 \cdot 0,3} \cdot \lg \frac{2,5^2}{0,05 \cdot 0,71} = 194,19 \text{ Ом.} \quad (0.5)$$

Загальний опір системи заземлювальних провідників, розрахований з урахуванням взаємного впливу елементів, становить

$$R = \frac{10 \cdot 194,19/0,3}{194,19/0,3 - 10} = 9,1 \text{ Ом.} \quad (0.6)$$

З урахуванням впливу з'єднувальних смуг уточнена кількість вертикальних заземлювальних провідників становить

$$n = \frac{12,7}{9,1 - 0,72} = 1,913 \text{ шт.} \quad (0.7)$$

У подальших розрахунках приймається, що встановлено 3 вертикальні заземлювальні провідники, які забезпечують допустимий опір системи заземлення на рівні 10 Ом.

На рисунку 5.1 наведено схему розташування системи заземлення в цеху виготовлення гнучких проводів із урахуванням конструктивних особливостей.

Рисунок 5.1 Схема розташування системи заземлення в цеху виготовлення гнучких проводів

					ЛНТУ. 971017.000 ПЗ	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

У другому розділі детально виконано розрахунок електричних навантажень силового та освітлювального обладнання в цеху виготовлення гнучких проводів, а також усього заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт. Для забезпечення надійного електропостачання заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт обґрунтовано вибір двох трансформаторних підстанцій типу ТП-2×6300 кВА, кожна з яких укомплектована двома конденсаторними установками типу ККУ - 0,4-35.

З урахуванням того, що центр електричних навантажень знаходиться безпосередньо на території заводу кабельної продукції, трансформаторні підстанції розміщено на відкритому майданчику поблизу огорожі з боку джерела електропостачання. Для живлення зазначених трансформаторних підстанцій застосовано кабельні лінії типу АСБ-10 із перерізом жил 3×35 мм², що відповідає розрахунковим навантаженням. У межах трансформаторних підстанцій передбачено встановлення комплекту високовольтного та низьковольтного електрообладнання, яке відповідає умовам експлуатації заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт.

В електричній мережі цеху виробництва гнучких дротів використано кабель марки ВВГнг-LS із підключенням через розподільчі пункти типу РП 8204 та із застосуванням автоматичних вимикачів серії NZMB1-4-A10.

У третьому розділі виконано розрахунок системи електроживлення верстату різання проводу AS251 із урахуванням її технологічних особливостей та режимів роботи. Як головний привод машини використано електродвигун типу АІР 90L2 потужністю 3 кВт, тоді як привід системи змащення реалізовано на базі двигуна АІР 63B2, а насос системи охолодження оснащено двигуном типу АІР 71A2. Для керування роботою всіх електродвигунів передбачено використання магнітних пускачів типів FC-1/6A та FC-1/9A, що забезпечують надійний пуск і захист. З метою захисту електричного обладнання верстату різання проводу AS251 обрано автоматичний вимикач серії NZMB1-4-A10 із номінальним струмом спрацювання

					ЛНТУ. 971017.000 ПЗ	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10,0 А. Для живлення верстату різання проводу AS251 застосовано кабель марки ВВГнг-LS із п'ятижильним виконанням перерізом 2,5 мм².

У четвертому розділі наведено результати обґрунтованого вибору світильника типу WHITECROFT 17K , виконаного з використанням спеціалізованого програмного середовища DIALux. Додатково представлено скріншот діаграми електричних навантажень заводу кабельної продукції встановленою потужністю 2741 кВт, побудованої із застосуванням програмного забезпечення MS Excel.

У п'ятому розділі виконано детальний розрахунок системи захисного заземлення для цеху виготовлення гнучких проводів з урахуванням нормативних вимог.

					ЛНТУ. 971017.000 ПЗ	Арк.
						67
Зм.	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.2.528:2018 Природне і штучне освітлення : нак. М-ва регіонального розвитку, будівництва та житловокомунального господарства України від 3 жовт. 2018 р. № 264. Вид. офіційне. Київ, 2018. 133 с.
3. Проектування електричної частини електричних станцій : навчальний посібник / П. Д. Лежнюк, В. М. Лагутін, В. В. Тептя. Вінниця: ВНТУ, 2019. 194 с.
4. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. ДНАОП 0.001.2198.
5. ДЕСТ1310997. Норми якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення.
6. Правила улаштування електроустановок. Видання офіційне. Міненерговугілля України. Х.: Форт, 2017. 760 с.
7. Корпусні автоматичні вимикачі Eaton : вебсайт. URL: <https://www.eaton.com/us/en-us/skuPage.NZMB1-4-A25.html>
8. Кабель АВВГ, АВВГнг, АВВГп : вебсайт. URL: <https://vse-e.com/kabel-i-provod/marki-kabelia/avvg-avvgng-kabel-silovoy>.
9. Кабель АВББШв (нг, нгд) : вебсайт. URL: <https://vse-e.com/kabel-i-provod/marki-kabelia/avbbshv-ng-ngd-kabel-silovoy-bronya> .
10. Щиты освещения : вебсайт. URL: <http://akonit-box.com/catalog/schity-osvescheniya>
11. Ящик розподільчий : вебсайт. URL: <https://nanohomeelectro.com.ua/p86547888-yaschik-raspredelitelyj.html>

					ЛНТУ. 971017.000 ПЗ	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		