

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 з виробництва
сільськогосподарської техніки встановленою
потужністю 2482кВт**

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

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ЕЕ-43
Мельник Вадим Юрійович

(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

Мельник В.Ю. Електропостачання заводу з виробництва сільськогосподарської техніки встановленою потужністю 2482кВт 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 проєкті розроблено систему електропостачання заводу з виробництва сільськогосподарської техніки встановленою потужністю 2482кВт.

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

Melnik V. Power supply to an agricultural machinery manufacturing plant with an installed capacity of 2482 kW. Manuscript.

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

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

The project developed a power supply system for agricultural machinery manufacturing plant with an installed capacity of 2482 kW.

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

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

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ПРОЄКТУВАННЯ	9
РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ	12
2.1. Розрахунок електричних навантажень.....	12
2.1.1. Визначення електричного навантаження для приймачів в механозбірному цеху	12
2.1.2. Визначення електричних навантажень освітлювальних обладнання в механозбірному цеху	15
2.1.3. Розрахунок повного навантаження на низьковольтних шинах ТП	18
2.2. Побудова картограми навантажень та визначення теоретичного центру навантажень	19
2.3. Вибір кількості та потужності трансформаторів для підстанцій з урахуванням компенсації реактивної потужності.....	21
2.4. Компенсація реактивної потужності.....	24
2.5. Визначення електричних навантажень на рівні 10 кВ	26
2.6. Вибір оптимальної схеми електропостачання підприємства	27
2.6.1. Вибір схеми зовнішнього електропостачання	27
2.6.2. Вибір схеми внутрішнього електропостачання	29
2.6.3. Вибір схеми живлення механозбірного цеху	31
2.6.4. Вибір та проєктування схеми освітлювальної мережі для механозбірного цеху	33
2.7. Розрахунок струму короткого замикання.....	37
2.7.1 Розрахунок струму короткого замикання в електромережі 10 кВ.....	37
2.7.2 Розрахунок струму короткого замикання в електромережі 0,4 кВ.....	40
2.8 Вибір вимикачів, захисного та вимірювального обладнання.....	44
2.8.1 Вибір вимикачів та захисного обладнання.....	44

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ				
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Мельник В.Ю.			Електропостачання заводу з виробництва сільськогосподарської техніки встановленою потужністю 2482кВт. Пояснювальна записка.		Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Гадай А.В.					Д	6	95
							ФАБЕ, гр. ЕЕ-43		
Н. Контр.		Ващелюк Ю.І.							
Затверд.		Волинець В.І.							

2.8.2 Вибір трансформаторів струму, амперметрів, лічильників активної та реактивної енергії	48
РОЗДІЛ 3 ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРЕС-АВТОМАТА РА-90	51
3.1. Розрахунок потужності для розподільного механізму.....	51
3.2. Розрахунок і вибір обладнання в схемі керування механізмом розподілу	53
РОЗДІЛ 4 САПР	56
РОЗДІЛ 5 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА	59
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	61
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	63
ДОДАТКИ	64

ВСТУП

Система електропостачання промислового підприємства – це складна інженерна інфраструктура, яка забезпечує безперебійну роботу виробничого обладнання, освітлення, опалення, вентиляції та інших систем. Для заводу з виробництва сільськогосподарської техніки надійність та ефективність системи електропостачання мають першорядне значення, оскільки будь-яке переривання електропостачання може призвести до значних виробничих втрат, пошкодження обладнання та ризиків для безпеки. Виробництво сільськогосподарської техніки – це капітало- та енергоємна галузь. Сучасні виробничі лінії включають верстати з ЧПК, зварювальні роботи, складальні конвеєри, печі для термообробки та інше потужне обладнання. Стабільна робота цих систем безпосередньо залежить від якості та надійності електропостачання.

Метою цієї роботи є розробка комплексного проєкту для електропостачання заводу з виробництва сільськогосподарської техніки встановленою потужністю 2482 кВт, що забезпечить:

- 1) безперебійне живлення критично важливих виробничих ліній та допоміжних систем;
- 2) оптимізацію споживання енергії та мінімізацію втрат;
- 3) дотримання стандартів електробезпеки та захист від несправностей;
- 4) гнучкість для врахування майбутнього розширення виробництва;
- 5) Балансування капітальних та експлуатаційних витрат.

Для досягнення цих цілей необхідно вирішити такі завдання: аналіз та розрахунок навантаження, вибір джерела живлення, проектування розподільчої мережі, вибір обладнання, системи захисту та керування, заходи енергоефективності, системи резервування та резервування, безпека.

Об'єктом проєкту є інфраструктура електропостачання заводу з виробництва сільськогосподарської техніки з встановленою електричною потужністю 2482 кВт.

Предметом проєкту є технічні, економічні та експлуатаційні аспекти проектування, впровадження та обслуговування надійної та ефективної системи електропостачання для зазначеної установки.

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

РОЗДІЛ 1

КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ПРОЄКТУВАННЯ

Завод з виробництва сільськогосподарської техніки виробляє оранковий інвентар (плуги, культиватори, борони), техніку для посіву та садіння (сівалки, саджалки), обладнання для внесення добрив та захисту рослин (розкидачі мінеральних добрив, машини для внесення органічних добрив, оприскувачі, фумігатори).

На рисунку 1.1 показано загальне розташування заводу з виробництва сільськогосподарської техніки встановленою потужністю 2482кВт.

Рисунок 1.1 – Загальне розташування заводу з виробництва сільськогосподарської техніки встановленою потужністю 2482кВт

У таблиці 1.1 наведено встановлену потужність кожного цеху заводу з виробництва сільськогосподарської техніки встановленою потужністю 2482кВт.

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ					
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання заводу з виробництва сільськогосподарської техніки встановленою потужністю 2482кВт. Пояснювальна записка.			Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Мельник В.Ю.						Д	9	3
Перевір.		Гадай А.В.								
Н. Контр.		Ващелюк Ю.І.								
Затверд.		Волинець В.І.								
					ФАБЕ, гр. ЕЕ-43					

Таблиця 1.1 – Встановлені потужності заводу з виробництва сільськогосподарської техніки

№	Назва цеху	Встановлена потужність, кВт
1	Цех тестування	156
2	Механічний цех	214
3	Цех фарбування	134
4	Цех малого серійного виробництва	90
5	Цех штампування	192
6	Механозбірний цех	223
7	Цех ковальського виробництва	848
8	Цех комплектувальних вузлів	268
9	Цех запчастин	112
10	Цех зварювання	201
11	Адміністративний корпус	44
Всього по підприємству		2482

На рисунку 1.2 показано розташування приймачів в механозбірному цеху.

Рисунок 1.2 –Розташування приймачів в механозбірному цеху

Встановлена потужність приймачів в механозбірному цеху наведені в табл.1.3.

Електроживлення для заводу з виробництва сільськогосподарської техніки встановленою потужністю 2482кВт розташоване на відстані 4,1 км і

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечується підстанцією 110/35/10. Трифазна потужність короткого замикання на шині живлення становить 90 МВА.

Таблиця 1.3 – Потужність приймачів для механозбірного цеху

№	Обладнання	Номінальна потужність обладнання, кВт
1	Зварювальний автомат NF-146	2,2
2-5	Радиально-свердильний верстат ММ-30	2,3
6	Зубообробний верстат MF-22	8,3
7	Горизонтально-фрезерний верстат EU-75	8,7
8-11	Гідравлічні прес NOI-70	2,2
12	Прес-автомат РА-90	8,5
13	CNC machining centers CMC 4	9

Допустима реактивна потужність для заводу з виробництва сільськогосподарської техніки встановленою потужністю 2482кВт становить 330 кВАр.

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ

2.1. Розрахунок електричних навантажень

2.1.1. Визначення електричного навантаження для приймачів в механозбірному цеху

Надійність та безперебійність електропостачання в механозбірному цеху безпосередньо залежить від точної та всебічної оцінки електричного навантаження. Для коректного розрахунку електричного навантаження ми скористаємося «методом діаграми порядку», детально описаним у додатку А.1 [1]. Номінальна потужність цієї групи обладнання розраховується наступним чином:

$$P_H = 1 \cdot 2,2 + 4 \cdot 2,3 + 1 \cdot 8,3 + 1 \cdot 8,7 = 28,4 \text{ кВт.} \quad (2.1)$$

Ефективна кількість приймачів цієї групи:

$$n_{ef} = \frac{28,4^2}{1 \cdot 2,2^2 + 4 \cdot 2,3^2 + 1 \cdot 8,3^2 + 1 \cdot 8,7^2} = 4,73. \quad (2.2)$$

Середнє навантаження групи за робочу зміну розраховується наступним - активна потужність, яка характеризує реальну споживану енергію:

$$P_{ср.зм.} = 0,3 \cdot 1 \cdot 2,2 + 0,3 \cdot 4 \cdot 2,3 + 0,3 \cdot 1 \cdot 8,3 + 0,3 \cdot 1 \cdot 8,7 = 8,52 \text{ кВт,} \quad (2.3)$$

- реактивна потужність

$$Q_{ср.зм.} = 0,3 \cdot 1 \cdot 2,2 \cdot 0,70 + 0,3 \cdot 4 \cdot 2,3 \cdot 0,70 + 0,3 \cdot 1 \cdot 8,30,70 + 0,3 \cdot 1 \cdot 8,7 \cdot 0,70 =$$
$$= 5,96 \text{ кВАр.} \quad (2.4)$$

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ				
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Мельник В.Ю.			Електропостачання заводу з виробництва сільськогосподарської техніки встановленою потужністю 2482кВт. Пояснювальна записка.		Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Гадай А.В.					Д	12	39
							ФАБЕ, гр. ЕЕ-43		
Н. Контр.		Ващелюк Ю.І.							
Затверд.		Волинець В.І.							

Коефіцієнт використання приймача, який показує ступінь завантаження обладнання

$$K_{\text{вик}} = \frac{8,52}{28,4} = 0,30. \quad (2.5)$$

Максимальний коефіцієнт, що враховує реальне навантаження в мережі:

$$K_{\text{max}} = f(n_{\text{эф}}; K_{\text{вик}}) = 2,01. \quad (2.6)$$

Активна потужність розрахункового навантаження визначається як:

$$P_p = 2,01 \cdot 8,52 = 17,16 \text{ кВт}. \quad (2.7)$$

Реактивна потужність розраховується на основі кількості ефективних приймачів. Оскільки $n_{\text{эф}} = 4,73 \leq 10$, то для коригування реактивної потужності застосовується коефіцієнт 1,1:

$$Q_p = 1,1 \cdot 5,96 = 6,56 \text{ кВАр}. \quad (2.8)$$

Тепер детально визначимо повне електричне навантаження всіх одиниць обладнання в механозбірному цеху (див. таблицю 2.1). Повні та всебічні результати розрахунку цих навантажень систематично зведені в таблицю 2.2.

Таблиця 2.1 – Електротехнічні характеристики електрообладнання в механозбірному цеху

Назва обладнання	Номинальна потужність, кВт	Кількість, шт.	$\cos \varphi$	Коефіцієнт використання
Зварювальний автомат NF-146	2,2	1	0,82	0,3
Радіально-свердлильний верстат ММ-30	2,3	4	0,82	0,3
Зубообробний верстат MF-22	8,3	1	0,82	0,3
Горизонтально-фрезерий верстат EU-75	8,7	1	0,82	0,3
Гідравлічні прес NOI-70	2,2	4	0,82	0,3
Прес-автомат PA-90	8,5	1	0,82	0,3
CNC machining centers CMC 4	9	1	0,82	0,3

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2 – Розрахунок електричного навантаження в механозбірному цеху

Назва групи обладнання	n	Номінальна потужність споживача, кВт	$p_{\text{эф}}$	$K_{\text{вик}}$	$tg\varphi$	Середнє навантаження за найбільш завантажену зміну		K_{maxc}	Розрахункове навантаження	
						кВт	кВАр		кВт	кВАр
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Група 1 споживачів змінного навантаження										
Зварювальний автомат NF-146	1	2,2	-	-	0,7	0,66	0,46	-	-	-
Радіально-свердильний верстат ММ-30	4	9,2	-	-	0,7	2,76	1,93	-	-	-
Зубообробний верстат MF-22	1	8,3	-	-	0,7	2,49	1,74	-	-	-
Горизонтально-фрезерий верстат EU-75	1	8,7	-	-	0,7	2,61	1,83	-	-	-
Всього	-	28,4	3,95	0,30	-	8,52	5,96	2,1	17,16	6,56
Всього по групі 1		28,4				8,52	5,96		17,16	6,56
Група 2 споживачів змінного навантаження										
Гідравлічні прес NOI-70	4	8,8	-	-	0,7	2,64	1,85	-	-	-
Прес-автомат РА-90	1	8,5	-	-	0,7	2,55	1,79	-	-	-
CNC machining centers СМС 4	1	9,0	-	-	0,7	2,70	1,89	-	-	-
Всього	-	26,3	2,88	0,3	-	7,89	5,52	2,38	16,81	6,08
Всього по групі 2		26,3	-	-	-	7,89	5,52		16,81	6,08
Всього механозбірного цеху						16,41	11,49	-	33,97	12,64

У таблиці 2.3 наведено повний розрахунковий показник енергетичного навантаження заводу з виробництва сільськогосподарської техніки встановленою потужністю 2482кВт, що дає змогу оцінити загальні потреби у електроенергії.

Таблиця 2.3 – Розрахунок енергетичного навантаження для заводу з виробництва сільськогосподарської техніки встановленою потужністю 2482кВт

Назва	Потужність, кВт	Середнє навантаження найбільш завантаженої зміни	
		кВт	кВАр
1	2	3	4
Цех тестування	156	46,8	37,4
Цех запчастин	112	67,2	53,8
Механічний цех	214	64,2	51,4
Механозбірний цех	223	66,9	53,5
Цех фарбування	134	80,4	64,3
Цех зварювання	201	60,3	48,2
Цех ковальського виробництва	848	508,8	407,0

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						14

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4
Цех малого серійного виробництва	90	27	21,6
Цех комплектувальних вузлів	268	53,6	42,9
Цех штампування	192	57,6	46,1
Адміністративний корпус	44	8,8	7,04
Всього по підприємству	2482	1041,6	833,28

2.1.2. Визначення електричних навантажень освітлювальних обладнання в механозбірному цеху

Надійність та безперебійність електропостачання механозбірного цеху безпосередньо залежить від точного визначення характеристик освітлювального обладнання та його електричного навантаження. Розрахунки виконуються за спеціальним методом, детально зазначеним у додатку А.2. Основним джерелом світла в даному випадку є сучасні LED-лампи, що відрізняються високою енергоефективністю та тривалим терміном служби.

Система освітлення механозбірного цеху використовує світильники моделі EATON W244-WAVELITE , які були попередньо змодельовані за допомогою сучасного програмного забезпечення DIALux – це дозволило оптимізувати розподіл світлового потоку. Детальний опис процесу моделювання наведено в Розділі 4. На рисунку 2.1 представлено наочну схематичну діаграму розташування світильників EATON W244-WAVELITE по всьому простору механозбірного цеху.

Номінальна споживана потужність усіх світильників EATON W244-WAVELITE у механозбірному цеху визначається множенням кількості світильників на потужність одного світильника:

$$P_{н.о} = 78 \cdot 44 = 3432 \text{ Вт.} \quad (0.1)$$

Середня активна потужність світильників EATON W244-WAVELITE , яка враховує коефіцієнт завантаження та інші фактори, розраховується наступним чином:

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 2.1 –Розташування світильників EATON W244-WAVELITE у механозбірному цеху

$$P_{p.o} = 3432 \cdot 0,8 \cdot 1,05 = 2883 \text{ Вт.} \quad (0.2)$$

Середня реактивна потужність світильників EATON W244-WAVELITE визначається так:

$$Q_{p.o} = 2883 \cdot 0,33 = 951 \text{ Вар.} \quad (0.3)$$

Для обґрунтованого визначення потреб у потужності освітлення заводу з виробництва сільськогосподарської техніки встановленою потужністю 2482кВт ми застосували «метод питомої щільності навантаження», детально згаданий у посиланні [1]. Цей метод є надійним та перевіреним на практиці.

Стандартний рівень освітленості, рекомендований для всіх виробничих зон механозбірного цеху, було встановлено на рівні $E = 300$ лк, що відповідає діючим нормам та стандартам безпеки праці.

Площа будівлі механозбірного цеху становить:

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F = 15 \cdot 42 = 630 \text{ м}^2. \quad (2.9)$$

Щільність освітленості для складального цеху встановлена 14,1 Вт/м². Отже, на основі цих даних розрахункова потужність освітлення у механозбірному цеху визначається через розрахунок:

- встановленої потужності освітлювальних приймачів у механозбірному цеху:

$$P_{\text{осв}} = 14,1 = 8,88 \text{ кВт}, \quad (2.10)$$

- розрахункового активного освітлювального навантаження механозбірного цеху, з урахуванням коригувальних коефіцієнтів:

$$P_{\text{р.осв}} = 1,1 \cdot 0,85 \cdot 8,88 = 8,3 \text{ кВт}. \quad (2.11)$$

- розрахункового реактивного освітлювального навантаження механозбірного цеху, яке відображає реактивну складову навантаження, розраховується так:

$$Q_{\text{р.осв}} = 8,3 \cdot 0,33 = 2,7 \text{ кВАр}. \quad (2.12)$$

У таблиці 2.4 наведено повні та систематизовані результати розрахунку освітлення для заводу з виробництва сільськогосподарської техніки встановленою потужністю 2482кВт.

Таблиця 2.4. – Розрахунок освітлювального навантаження для заводу з виробництва сільськогосподарської техніки встановленою потужністю 2482кВт

Назва	$E_{\text{норм}},$ Лк	$F,$ м ²	$P_{\text{пит}},$ Вт/м ²	$P_0,$ кВт	$K_{\text{пра}}$	$K_{\text{п}}$	$\text{tg}\varphi$	$P_{\text{ро}},$ кВт	$Q_{\text{ро}},$ кВАр
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Цех тестування	300	640	14,1	9,02	1,1	0,85	0,33	8,4	2,8
Механічний цех	250	432	16,2	7,00	1,1	0,8	0,33	6,2	2,0
Цех фарбування	200	64	17,1	1,09	1,1	0,9	0,33	1,1	0,4
Цех малого серійного виробництва	300	576	11,2	6,45	1,1	0,85	0,33	6,0	2,0
Цех штампування	250	840	8,8	7,39	1,1	0,85	0,33	6,9	2,3
Механозбірний цех	150	110	15,1	1,66	1,1	0,85	0,33	1,6	0,5

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Цех ковальського виробництва	200	200	13	2,60	1,1	0,85	0,33	2,4	0,8
Цех комплектувальних вузлів	300	306	16,2	4,96	1,1	0,8	0,33	4,4	1,4
Цех запчастин	350	336	11,9	4,00	1,1	0,85	0,33	3,7	1,2
Цех зварювання	250	320	11,9	3,81	1,1	0,85	0,33	3,6	1,2
Адміністративний корпус	150	170	15,1	2,57	1,1	0,85	0,33	2,4	0,8
Зовнішнє освітлення	–	50020	2·10 ⁻⁵	10,00	1,1	0,85	0,33	9,4	3,1
Всього	–	–	–	–	–	–	–	58,1	19,1

2.1.3. Розрахунок повного навантаження на низьковольтних шинах ТП

Ми використовуємо надійний метод, детально описаний у додатку А.1, для механозбірного цеху:

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{(66,9+6,3)^2 + (53,5+2,1)^2} = \sqrt{73,2^2 + 55,6^2} = 91,90 \text{ кВА.} \quad (0.4)$$

Результати розрахунків інших цехів зведемо в абл. 2.5.

Таблиця 2.5—Розрахунок повного навантаження на низьковольтних шинах ТП

Назва	P _{ср.зм.} , кВт	Q _{ср.зм.} , кВАр	P _{ро} , кВт	Q _{ро} , кВАр	P _{pΣ} , кВт	Q _{pΣ} , кВАр	S _{pΣ} , кВАр
Цех тестування	46,8	37,4	8,3	2,7	55,1	40,2	68,19
Цех запчастин	67,2	53,8	6,4	2,1	73,6	55,9	92,41
Механічний цех	64,2	51,4	1,7	0,6	65,9	51,9	83,89
Механозбірний цех	66,9	53,5	6,3	2,1	73,2	55,6	91,90
Цех фарбування	80,4	64,3	6,9	2,3	87,3	64,3	108,42
Цех зварювання	60,3	48,2	2,0	0,7	62,3	48,9	79,22
Цех ковальського виробництва	508,8	407,0	2,6	0,9	511,4	407,9	654,17
Цех малого серійного виробництва	27	21,6	4,8	1,6	31,8	21,6	38,48
Цех комплектувальних вузлів	53,6	42,9	3,7	1,2	57,3	44,1	72,28
Цех штампування	57,6	46,1	3,5	1,2	61,1	47,2	77,23
Адміністративний корпус	8,8	7,04	2,6	0,9	11,3	7,9	13,75
Зовнішнє освітлення	–	–	9,4	3,1	9,4	3,1	9,85
Всього	-	-	-	-	1099,7	848,5	1388,99

Комплексний розрахунок повного навантаження на низьковольтні шини для заводу з виробництва сільськогосподарської техніки встановленою потужністю 2482кВт:

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{(1041,6+58,1)^2 + (833,28+19,1)^2} = \sqrt{1099,7^2 + 848,5^2} = 1388,99 \text{ кВА.} \quad (0.5)$$

Це дозволяє отримати точні дані для подальшого проектування електромережі.

2.2. Побудова картограми навантажень та визначення теоретичного центру навантажень

Радіус, що визначає активну спожиту потужність в механозбірному цеху, було успішно розраховано за допомогою спеціального методу, детально описаного в додатку А.3. Цей метод забезпечує високу точність отриманих результатів та відповідає діючим нормативним вимогам.

$$r = \sqrt{\frac{55,1}{3,14 \cdot 2}} = 3,0 \text{ см.} \quad (0.6)$$

Результати всебічного розрахунку картограми навантаження для решти будівель заводу з виробництва сільськогосподарської техніки встановленою потужністю 2482кВт систематично наведено в зручній для аналізу таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Розрахунок картограми навантаження заводу з виробництва сільськогосподарської техніки встановленою потужністю 2482кВт

Назва	r , см	х, м	у, м	$P_{p\Sigma X}$, кВт·м	$Q_{p\Sigma X}$, кВАр·м	$P_{p\Sigma Y}$, кВт·м	$Q_{p\Sigma Y}$, кВАр·м
1	2	3	4	5	6	7	8
Цех тестування	3,0	109	34	6006,51	4378,52	1873,59	1365,78
Цех запчастин	3,4	98	35	7214,29	5475,12	2576,53	1955,4
Механічний цех	3,2	179	109	11794,8	9293,04	7182,33	5658,89
Механозбірний цех	3,4	187	138	13685,3	10394,4	10099,3	7670,76
Цех фарбування	3,7	220	138	19201,3	14150,4	12044,4	8876,16
Цех зварювання	3,2	59	66	3676,82	2885,31	4113,05	3227,64
Цех ковальського виробництва	9,0	232	104	118651	94633,5	53188,2	42421,9

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			19

Продовження таблиці 2.6

1	2	3	4	5	6	7	8
Цех серійного виробництва	2,3	130	149	4140,12	2808	4745,21	3218,4
Цех комплектувальних вузлів	3,0	218	81	12485,2	9610,93	4639,01	3571,03
Цех штампування	3,1	201	34	12282,1	9493,63	2077,56	1605,89
Адміністративний корпус	1,3	51	105	575,528	400,693	1184,91	824,957
Всього		—	—	209713	163524	103724	80397

Теоретичні координати центру навантаження визначаються для активної та реактивної складових окремо:

- активне навантаження:

$$X_{\text{ца}} = \frac{209713}{1090,32843} = 192 \text{ м}; \quad (2.13)$$

$$Y_{\text{ца}} = \frac{103724}{1090,32843} = 95 \text{ м}; \quad (2.14)$$

- реактивне навантаження:

$$X_{\text{цр}} = \frac{163524}{845,4422} = 193 \text{ м}; \quad (2.15)$$

$$Y_{\text{цр}} = \frac{80397}{845,4422} = 95 \text{ м}. \quad (2.26)$$

Оскільки дорога, яка проходить через завод з виробництва сільськогосподарської техніки розташована досить близько до передбачуваного центру навантаження, було прийнято обґрунтоване рішення про переміщення підстанції заводу з виробництва сільськогосподарської техніки встановленою потужністю 2482кВт ближче до джерела живлення. Це дозволить оптимізувати електромережу та зменшити втрати енергії. На рисунку 2.2 представлено детальний план, що ілюструє запропоноване розташування.

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 2.2 – Картограма заводу з виробництва сільськогосподарської техніки встановленою потужністю 2482кВт

2.3. Вибір кількості та потужності трансформаторів для підстанцій з урахуванням компенсації реактивної потужності

Вибір кількості та оптимальної потужності трансформаторів підстанції базується на надійному методі «питомої густини навантаження», детально описаному в додатку А.4. Цей підхід дозволяє отримати обґрунтовані та економічно вигідні рішення.

$$\sigma_n = \frac{1389,0}{3725} = 0,37 \frac{\text{кВА}}{\text{м}^2}. \quad (2.28)$$

Для цієї густини навантаження ми плануємо використовувати дві різні схеми живлення трансформаторів – потужністю 400 кВА та 630 кВА. Для об'єктивного порівняння економічної ефективності цих двох схем трансформаторів ми використаємо «метод приведених затрат» [1].

Мінімальна кількість трансформаторів, необхідна для першої схеми (400 кВА), визначається за формулою:

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_{\min} = \frac{1099,7}{0,7 \cdot 400} + = 4. \quad (2.16)$$

Економічно оптимальна кількість трансформаторів для першої схеми (400 кВА) визначається так:

$$N_{\text{опт}} = 4 + 0 = 4. \quad (2.17)$$

Часткова реактивна потужність, що передається в енергомережу заводу з виробництва сільськогосподарської техніки встановленою потужністю 2482кВт через трансформатор 400 кВА, розраховується наступним чином:

$$Q_{\max.m} = \sqrt{(4 \cdot 400 \cdot 0,7)^2 + (1099,7)^2} = 212,4 \text{ кВАр}. \quad (2.18)$$

Загальна потужність конденсаторних батарей в першій схемі визначається як різниця між загальною реактивною потужністю та частковою реактивною потужністю:

$$Q_{\text{НК1}} = 848,5 - 212,4 = 636,2 \text{ кВАр}. \quad (2.19)$$

Приймаємо, що номінальна напруга конденсаторних батарей становить 0,4 кВ, а його реактивна потужність $Q_{\text{НК1}} = 636,2 \text{ кВАр}$.

Додаткова потужність конденсаторних батарей для першої схеми, яка враховує всі необхідні резерви, розраховується так:

$$Q_{\text{НК2}} = 848,5 - (636,2) - 1 \cdot 4 \cdot 400 = -1387,6 \text{ кВАр}. \quad (2.20)$$

Години максимальних втрат енергії визначаються за спеціальними нормативами та залежать від режиму роботи обладнання:

$$\tau_M = \left(0,124 + \frac{4000}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 2405 \text{ год}, \quad (2.21)$$

Втрати потужності для першої схеми розраховуються з урахуванням всіх факторів:

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta W = 1,05 \cdot 4000 + 5,5 \cdot 2405 = 56,68 \text{ тис. кВт}\cdot\text{год. (2.22)}$$

Експлуатаційні витрати Схеми 1 визначаються множенням вартості одиниці енергії на втрати:

$$C_{\epsilon} = 0,1268 \cdot 56,68 = 7,186 \text{ тис.грн.}, \quad (2.23)$$

Приведені затрати для Схеми 1:

$$Z = (0,12 + 0,05) \cdot 230,170 \cdot 4 + 7,186 = 178,029 \text{ тис.грн. (2.24)}$$

У таблиці 2.7 наведено повні та систематизовані результати розрахунків для двох різних схем живлення трансформаторів, що дозволяє провести об'єктивне порівняння їх економічної ефективності та технічних характеристик.

Таблиця 2.7 – Вибір оптимальної потужності трансформаторів

Показник	Одиниці вимірювання	Перший варіант 400 кВА	Другий варіант 630 кВА
1	2	3	4
$P_{p\Sigma}$	кВт	1099,7	1099,7
$Q_{p\Sigma}$	кВАр	848,5	848,5
$S_{p\Sigma}$	кВА	1389,0	1389,0
F	м ²	3725	3725
σ_n	кВА/м ²	0,37	0,37
Тип трансформатора	—	ТМ-400	ТМ-630
K_T	тис. грн.	230,170	495,504
K_3	—	0,7	0,7
N_{min}	—	3,93	2,49
M	—	0	0
N_{opt}	—	4	3
$Q_{max T}$	кВАр	212,4	735,5
Q_{HK1}	кВАр	636,2	113,0
K_{p1}	—	24	24
K_{p2}	—	2	2
γ	—	1,0	1,0
Q_{HK2}	кВАр	-1387,6	-1154,5
Q_{HK}	кВАр	636,2	0
Тип НБК	—	4×УКР 0,4-160 УЗ	—
$K_{НБК}$	тис. грн.	18,067	—
ΔW	тис. кВт·год	56,68	48,34

Продовження таблиці 2.7

1	2	3	4
С _е	Тис. грн.	7,186	6,129
К	тис. грн.	976,246	1235,594
З	тис. грн.	178,029	222,358

Аналіз отриманих даних показує, що перший варіант із використанням трансформатора ТМ-400 має суттєво нижчу загальну вартість реалізації та експлуатації порівняно з другим варіантом (178,029 тис. грн проти 222,358 тис. грн). Крім того, він забезпечує достатню потужність для забезпечення потреб заводу.

Наступним важливим кроком у процесі проєктування є детальна перевірка перевантажувальної здатності обраного трансформатора, щоб убезпечитися в його надійності та безпеці роботи в екстремальних режимах. Розрахунок виконується за формулою:

$$1,4 \cdot (4 - 1) \cdot 400 = 1680 \text{ кВА} > 1099,7 \text{ кВА.} \quad (2.25)$$

Отриманий результат свідчить про те, що умова виконана: максимальна перевантажувальна потужність трансформатора (1680 кВА) значно перевищує розрахункове навантаження (1099,7 кВА). Це означає, що трансформатор ТМ-400 є цілком придатним для встановлення та забезпечить надійну та безпечну роботу електромережі заводу в усіх передбачених режимах експлуатації.

2.4. Компенсація реактивної потужності

Для визначення максимального сумарного реактивного навантаження заводу з виробництва сільськогосподарської техніки встановленою потужністю 2482кВт (яке буде слугувати надійною основою для подальшого розрахунку необхідної потужності компенсаційного пристрою) буде використано спеціальний метод, детально зазначений у додатку А.4. Цей підхід забезпечує високу точність отриманих результатів та відповідає діючим нормативним вимогам

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_{M1}=0,9 \cdot 848,5 = 763,7 \text{ кВАр.} \quad (2.26)$$

Сумарна потужність компенсаційного пристрою визначається шляхом точного балансування реактивної потужності на межі розділу між обладнанням заводу з виробництва сільськогосподарської техніки та електромережею, особливо в періоди пікового навантаження мережі, коли виникають максимальні навантаження

$$Q_{K1}= 763,7 - 330 = 433,7 \text{ кВАр.} \quad (2.27)$$

Нескомпенсована реактивна потужність на стороні 10 кВ трансформатора ТМ-400, яка залишається після часткової компенсації, визначається за формулою:

$$Q_{HCT}=848,5 - 4 \cdot 160 + 70,1 = 758,6 \text{ кВАр} \quad (2.28)$$

Для ефективного балансування потужності на стороні 10 кВ, що забезпечить стабільну роботу системи, необхідно встановити високовольтну конденсаторну батарею з такою загальною потіжністю:

$$Q_{BK}= 433,7 + 70,1 - 3 \cdot 160 = 343,8 \text{ кВАр.} \quad (2.29)$$

Через порівняно високу вартість встановлення конденсаторів на напрузі 10 кВ та з урахуванням економічної доцільності ми прийняли рішення виконати всю компенсацію реактивної потужності на стороні низької напруги – 0,4 кВ трансформатора. Для досягнення цієї мети ми встановили 4 сучасні конденсатори моделі УКР 0,4-140, які забезпечують необхідну компенсацію та стабільність роботи системи.

На рисунку 2.3 представлено схему живлення заводу з виробництва сільськогосподарської техніки встановленою потужністю 2482кВт. Ця схема відображає всі основні елементи електропостачання та їх взаємозв'язок.

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 2.3 – Схема електропостачання заводу з виробництва сільськогосподарської техніки встановленою потужністю 2482кВт

2.5. Визначення електричних навантажень на рівні 10 кВ

Для точного визначення втрат активної потужності трансформатора ми успішно використовуємо спеціальний метод, детально зазначений у додатку А.5. Цей підхід забезпечує високу точність розрахунків та відповідає діючим нормативним вимогам

$$\Delta P_T = 1,1 + 0,7^2 \cdot 5,5 = 14,4 \text{ кВт.} \quad (2.30)$$

Загальна потужність на стороні 10 кВ підстанції, яка враховує номінальну потужність та втрати потужності становить:

$$S_{p4} = \sqrt{(1099,7 + 14,4)^2 + (848,5 + 70,1 - 4 \cdot 90)^2} = 1161,9 \text{ кВА.}$$

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.6. Вибір оптимальної схеми електропостачання підприємства

2.6.1. Вибір схеми зовнішнього електропостачання

Надійність та безперебійність електропостачання заводу з виробництва сільськогосподарської техніки встановленою потужністю 2482кВт безпосередньо залежить від грамотного та обґрунтованого вибору схеми зовнішнього розподілу електроенергії. Підстанція 110/35/10 кВ виконує роль основного джерела електропостачання для всього підприємства. Отже, завод з виробництва сільськогосподарської техніки отримує електроживлення за допомогою кабелю з номінальною напругою 10 кВ, прокладеного під землею.

Процес визначення відповідної площі поперечного перерізу провідника базується на спеціальній розрахунковій формулі, детально наведеній у додатку А.5. За результатами розрахунку отримано наступне значення струму:

$$I_{n.ав.} = \frac{1161,9}{\sqrt{3} \cdot 10} = 67,1 \text{ А}, \quad (2.31)$$

На підставі отриманих даних ми обґрунтовано вибрали кабель АСБ-10 - 3×35 з номінальним струмом $I_{доп} = 115\text{А}$. Враховуючи номінальний коефіцієнт зниження характеристики та умови прокладання, допустимий струм кабелю становить:

$$I_p = 67,1 \leq I'_{доп} = 1 \cdot 1,05 \cdot 115 = 120 \text{ А}. \quad (2.32)$$

Розрахунковий струм за стандартних умов експлуатації визначається за формулою:

$$I_{норм.} = \frac{1161,9}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 33,54 \text{ А}, \quad (2.33)$$

Тепер детально перевіримо вибрану ділянку кабелю «на відповідність вимогам падіння напруги під час нормальної роботи системи»:

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta U_{\text{норм}} = \sqrt{3} \cdot 33,54 \cdot 4,12 \cdot (0,89 \cdot 2,66 + 0,095 \cdot 1,1) = 190,71 \text{ В.} \quad (2.34)$$

Або у відсотковому виразі $\Delta U_{\text{норм}} = 1,91 \%$.

Падіння напруги за аварійних умов роботи системи визначається так:

$$\Delta U_{\text{п.ав}} = \sqrt{3} \cdot 67,1 \cdot 4,12 \cdot (0,89 \cdot 2,66 + 0,095 \cdot 1,1) = 381,42 \text{ В,} \quad (2.35)$$

або $\Delta U_{\text{п.ав}} = 3,81 \%$

Отримані результати показують, що втрати напруги в обох режимах (нормальному та аварійному) не перевищують допустимого значення $\Delta U_{\text{доп}} = 10\%$, що відповідає нормативним вимогам.

Для вибору економічно доцільного перерізу кабелю проведемо всебічне техніко-економічне порівняння чотирьох можливих варіантів, враховуючи як технічні характеристики, так і експлуатаційні витрати.

Коефіцієнт навантаження для кабелю АСБ-10 - 3×35 визначається як відношення розрахункового струму до номінального::

$$K_z = \frac{33,54}{115} = 0,58. \quad (2.36)$$

Номінальні втрати потужності для кабелю АСБ-10 - 3×25 :

$$\Delta P_{\text{ном}} = 3 \cdot 115^2 \cdot 0,89 \cdot 4,12 = 42 \text{ кВт/км.} \quad (2.37)$$

Втрати потужності в кабелі АСБ-10 - 3×35 при реальному навантаженні розраховується за формулою:

$$\Delta P_p = 0,58^2 \cdot 42 = 58,876 \text{ кВт/км,} \quad (2.38)$$

Експлуатаційні витрати кабелю АСБ-10 - 3×35, які включають вартість втрат енергії протягом року, розраховуються так:

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_e = 0,1268 \cdot 58,876 \cdot 2405 = 471,742 \text{ тис.грн.} \quad (2.39)$$

Приведені затрати на кабель АСБ-10 - 3×35, що включає капітальні та експлуатаційні витрати, визначається за формулою:

$$З = (0,12 + 0,10) \cdot 785,696 + 471,742 = 1896,052 \text{ тис.грн.} \quad (2.40)$$

Результати всебічного розрахунку для кабелів АСБ-10 з поперечними перерізами 35, 50 та 70 мм² систематично наведено в наступних таблицях 2.8 і 2.9.

Таблиця 2.8 –Перевірка кабелів на втрати напруги

Кабель-переріз	F, мм ²	I _{доп} , А	r ₀ , Ом/км	x ₀ , Ом/км	ΔU _{норм} , В	ΔU _{норм} , %	ΔU _{п.ав.} , %
АСБ-10-35	35	115	0,89	0,095	190,71	1,91	3,81
АСБ-10-50	50	140	0,62	0,09	135,97	1,36	2,72
АСБ-10-70	70	165	0,443	0,062	96,85	0,97	1,94

Таблиця 2.9 – Вибір поперечного перерізу кабелю

Кабель-переріз	K _з	ΔP _{ном} , кВт	P _p , кВт	C _e , тис.грн.	K, тис.грн.	З, тис.грн
АСБ-10-35	0,58	42	58,876	1119,155	6474,135	1896,052
АСБ-10-50	0,48	44	41,618	1051,528	7180,655	1913,207
АСБ-10-70	0,41	47	32,005	1071,549	8151,118	2049,683

Приймаємо кабель АСБ-10-3×35, для якого приведені затрати 1896,052 тис.грн є мінімальні.

2.6.2. Вибір схеми внутрішнього електропостачання

Напруга живлення електрообладнання заводу з виробництва сільськогосподарської техніки встановленою потужністю 2482кВт становить 0,38 кВ. Для забезпечення надійного та безперебійного електроживлення завод використовується радіальна система розподілу електроенергії для живлення всіх своїх виробничих будівель. При цьому кожна будівля живиться через дві повністю незалежні лінії електропередач, що істотно підвищує надійність системи та забезпечує резерв у разі аварії однієї з ліній.

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Площа поперечного перерізу цих кабельних ліній визначається відповідно до їх «допустимого струму» механозбірного цеху, детально описаного у додатку А.6. Цей підхід забезпечує безпечну експлуатацію кабелів та відповідає діючим нормативним вимогам.

Струм, що протікає через лінію живлення складального цеху, становить:

$$I_p = \frac{68,19}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 98,43 \text{ А.} \quad (2.41)$$

Розрахунок та обґрунтований вибір розподільчих пунктів для інших будівель здійснюються за аналогічною методикою, що забезпечує єдині підходи до проектування. Отримані результати систематично наведено в зручній для аналізу таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Вибір РП-0,4 кВ та автоматичних вимикачів

Назва	$S_{p\Sigma}$, кВАр	I_p , А	Тип РП	$I_{доп}$, А	Позначення на рис. 2.1	Тип автоматичного вимикача
1	2	3	4	5	6	7
Цех тестування	68,19	97,32	РП 8204	480	ПР9	COMPACT NSX160F
Цех запчастин	92,41	131,17	РП 8204	480	ПР10	COMPACT NSX160F
Механічний цех	83,89	119,42	РП 8204	480	ПР2	COMPACT NSX160F
Механозбірний цех	91,90	130,98	РП 8204	480	ПР11	COMPACT NSX160F
Цех фарбування	108,42	154,27	РП 8204	480	ПР3	COMPACT NSX160F
Цех зварювання	79,22	112,68	РП 8204	480	ПР8	COMPACT NSX160F
Цех ковальського виробництва	654,17	932,02	РП 8204	480	ПР1	COMPACT NSX1600F
Цех малого серійного виробництва	38,48	54,99	РП 8204	480	ПР5	COMPACT NSX160F
Цех комплектувальних вузлів	72,28	102,84	РП 8204	480	ПР4	COMPACT NSX160F
Цех штампування	77,23	109,81	РП 8204	480	ПР7	COMPACT NSX160F
Адміністративний корпус	13,75	19,48	РП 8204	480	ПР6	COMPACT NSX160F

Далі ми детально перевіримо, чи повністю відповідають обрані кабельні лінії 0,4 кВ вимогам щодо «струму після однопровідного відключення». Отримані результати перевірки систематично наведено в таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Вибір кабельних ліній напругою 0,4 кВ до РП-0,4 кВ

Назва	$I_p, \text{А}$	Переріз мм^2	$L, \text{км}$	$I_{\text{доп}}, \text{А}$	$I_{\text{доп}}, \text{А}$	$I_{\text{п.ав}}, \text{А}$	$I_{\text{п.ав}}, \text{А}$	$r_0, \text{Ом/км}$	$x_0, \text{Ом/км}$	$\Delta U_{\text{норм}}, \%$	$\Delta U_{\text{п.ав.}}, \%$
1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ТП1– ПР1	236,06	5×120	0,094	251	207	158	163	0,26	0,08	0,99	1,97
ТП1– ПР2	148,85	5×50	0,064	158	207	138	143	0,63	0,085	1,98	3,96
ТП1– ПР4	238,51	5×120	0,093	251	207	170	176	0,26	0,08	1,18	2,36
ТП1– ПР7	178,17	5×70	0,091	186	207	107	111	0,45	0,082	3,80	7,59
ТП1– ПР9	98,43	5×25	0,057	102	140	53,8	56	1,25	0,091	4,04	8,08
ТП2– ПР3	176,62	5×70	0,067	186	171	62,7	65	0,45	0,082	2,42	4,84
ТП2– ПР5	55,54	5×10	0,197	56	119	20,7	21	3,12	0,099	9,73	19,46
ТП2– ПР6	19,85	5×2,5	0,053	25	119	16,7	17	12,50	0,116	8,31	16,61
ТП2– ПР8	114,34	5×35	0,115	130	119	64	66	0,89	0,088	3,88	7,76
ТП2– ПР11	244,86	5×120	0,058	251	171	65,6	68	0,26	0,08	0,68	1,36
ТП2– ПР10	133,39	5×50	0,079	158	119	22,7	23	0,63	0,085	0,37	0,75

Після завершення всіх необхідних перевірок ми остаточно затверджуємо вибрані перерізи кабельних ліній.

2.6.3. Вибір схеми живлення механозбірного цеху

Надійність та безперебійність конфігурації живлення механозбірного цеху безпосередньо залежать від грамотно вибраної схеми електропостачання (див. додаток А.7). Умови роботи складального цеху є стандартними, що спрощує процес проектування та експлуатації.

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ					Арк.
										31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Рисунок 2.4– Розміщення РП-0,4 кВ

Електричні навантаження механозбірного цеху живляться за радіальною схемою. Такий підхід забезпечує рівномірний розподіл навантаження та мінімізує ризик перевантаження окремих ділянок мережі.

Механозбірний цех живиться від шини 0,4 кВ підстанції ТП-10/0,4 через кабельне з'єднання 0,4 кВ. Струм, що протікає через цю лінію, становить:

$$I_{p.ц} = \frac{\sqrt{33,97^2 + 12,64^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 52,3 \text{ А.} \quad (2.42)$$

На підставі отриманих розрахунків було обґрунтовано обрано кабель ВВГнг-LS-0,4-5×16 з максимальною пропускною здатністю 56 А, що забезпечує необхідний запас надійності та відповідає нормативним вимогам.

Обладнання механозбірного цеху живиться від сучасного розподільного щита РП 8204, який має номінальний струм до 480 А та оснащений високонадійними автоматичними вимикачами COMPACT NSX160F. Це забезпечує надійний захист обладнання та стабільну роботу системи.

Номінальний струм зварювального автомата ТАР 27 становить:

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{\text{ном}} = \frac{2,2}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,82} = 3,9 \text{ А.} \quad (2.43)$$

Для надійного живлення обладнання в механозбірному цеху було обґрунтовано обрано метод прокладання кабелів ВВГнг-LS-0,4 всередині спеціальної металевої конструкції стелі. Це забезпечує захист кабелів від механічних пошкоджень та відповідає вимогам пожежної безпеки. Результати

Таблиця 2.12 – Вибір кабелів для механозбірного цеху

Назва обладнання	Номінальна потужність, кВт	$\cos \varphi$	I_p , А	Переріз ВВГнг-LS-0,4
1	2	3	4	5
Зварювальний автомат NF-146	2,2	0,8	1,85	5×2,5
Радіально-свердильний верстат ММ-30	2,3	0,8	2,78	5×2,5
Радіально-свердильний верстат ММ-30	2,3	0,8	2,78	5×2,5
Радіально-свердильний верстат ММ-30	2,3	0,8	2,78	5×2,5
Радіально-свердильний верстат ММ-30	2,3	0,8	2,78	5×2,5
Зубообробний верстат MF-22	8,3	0,8	13,9	5×2,5
Горизонтально-фрезерий верстат EU-75	8,7	0,8	13,9	5×2,5
Гідравлічні прес NOI-70	2,2	0,8	1,85	5×2,5
Гідравлічні прес NOI-70	2,2	0,8	1,85	5×2,5
Гідравлічні прес NOI-70	2,2	0,8	1,85	5×2,5
Гідравлічні прес NOI-70	2,2	0,82	1,85	5×2,5
Прес-автомат РА-90	8,5	0,82	13,9	5×2,5
CNC machining centers СМС 4	9	0,82	18,5	5×2,5

Схема розташування приймачів механозбірного цеху показана на рисунку 2.5

2.6.4. Вибір та проєктування схеми освітлювальної мережі для механозбірного цеху

Враховуючи особливості просторового розташування освітлювальних приладів у механозбірному цеху, а також вимоги до рівномірного освітлення виробничих зон і технологічних проходів, ми обрали радіальну схему підключення. Такий підхід забезпечує надійність роботи системи, спрощує

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технічне обслуговування та дозволяє оперативно виявляти та усувати можливі несправності.

Рисунок 2.5 – Схема розташування приймачів механозбірного цеху

У колі освітлення механозбірного цеху використовується сучасний кабель розімкнутого типу ВВГнг-LS-0,4, який відповідає найсуворішим вимогам пожежної безпеки, має високу механічну міцність та стійкість до агресивних факторів виробничого середовища. У розподільчому щиті застосовується спеціалізований кабель типу ЩОН-12, що забезпечує стабільну передачу електроенергії, має високий ресурс роботи та повністю відповідає діючим нормативним вимогам. Детальніші відомості про вибір точок розподілу та їх технічні характеристики наведено у таблиці 2.13.

Таблиця 2.13 – Вибір і перевірка ЩОН-12

Умови вибору	Дані розрахунку	Дані каталогу продукції
$U_{\text{ном.м}} \leq U_{\text{ном.а}}$	$U_{\text{ном.м}} = 0,38 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном.а}} = 0,4 \text{ кВ}$
$I_{\text{ном}} \geq I_p$	$I_p = 4,4 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 150 \text{ А}$
$I_k^2 t_k \leq I_{\text{т.ст}}^2 t_{\text{т.ст}}$	$10^2 \cdot 0,1 = 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{сек}$	$10^2 \cdot 4 = 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{сек.}$

Площа поперечного перерізу освітлювальної мережі в механозбірному цеху визначається за принципом «мінімального провідного матеріалу» (додаток А.8).

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Це дозволяє істотно оптимізувати витрати на кабельну продукцію без будь-яких втрат у надійності та безпеці функціонування системи освітлення.

Момент навантаження, що генерується всіма світильниками EATON W244-WAVELITE на ділянці мережі кола РШ-ЩО механозбірного цеху, розраховується за формулою:

$$M_{\text{РШ-ЩО}} = 0,044 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 25 = 79,2 \text{ кВт} \cdot \text{м.} \quad (2.44)$$

Момент навантаження від ЩО до першого ряду світильників визначається за формулою:

$$m_{\text{ЩО-1}} = 0,044 \cdot 9 \cdot \left(19,1 + \frac{(9-1) \cdot 2,8}{2} \right) = 12,0 \text{ кВт} \cdot \text{м.} \quad (2.45)$$

Для інших рядів світильників за аналогічною методикою, що забезпечує єдині підходи до проектування всієї освітлювальної мережі та гарантує рівномірне розподілення навантаження. Отримані результати систематично зведені в таблицю 2.14.

Поперечний переріз кабелю для ділянки мережі РШ-ЩО в механозбірному цеху визначається за формулою:

$$S_{\text{РШ-ЩО}} = \frac{79,2 + 1,39 \cdot 133,2}{44 \cdot 3} = 2,0 \text{ мм}^2. \quad (2.46)$$

Таблиця 2.14 – Вибір оптимального поперечного перерізу для освітлювальної мережі в механозбірному цеху

Лінія	$\ell_{\text{до}}, \text{ м}$	$m_{\text{ЩО-і}}, \text{ кВт} \cdot \text{м}$	$S_{\text{ЩО-і}}, \text{ мм}^2$	$S_{\text{ЩО-і.пр}}, \text{ мм}^2$
ЩО-1	19,1	12,0	0,71	2,5
ЩО-2	17,9	11,5	0,68	2,5
ЩО-3	16,7	11,0	0,65	2,5
ЩО-4	15,5	10,6	0,63	2,5
ЩО-5	14,3	10,1	0,60	2,5
ЩО-6	13,1	9,6	0,57	2,5
ЩО-7	11,9	9,1	0,54	2,5
ЩО-8	10,7	8,7	0,51	2,5

Враховуючи стандартизацію кабельної продукції, необхідний запас надійності та можливі пікові навантаження, ми використовуємо стандартний поперечний переріз $s_{\text{РШ-ЩО}} = 2,5 \text{ мм}^2$, що повністю відповідає нормативним вимогам і забезпечує тривалу експлуатацію системи.

Фактичні втрати напруги на цій ділянці складають:

$$\Delta u_{\text{РШ-ЩО}} = \frac{79,2}{44 \cdot 3} = 0,7 \%. \quad (2.47)$$

Отримане значення повністю знаходиться в межах допустимого діапазону (до 10%), що підтверджує коректність обраних параметрів і гарантує стабільне живлення світильників.

Далі детально розрахуємо допустиме падіння напруги для першого ряду світильників, враховуючи всі можливі фактори впливу:

$$\Delta u_{\text{ЩО-1}} = 3 - 0,7 = 2,28\%. \quad (2.48)$$

Отже, площа поперечного перерізу провідника кабелю для першого ряду світильників визначається так:

$$s_{\text{ЩО-1}} = \frac{12,0}{7,4 \cdot 2,28} = 0,71 \text{ мм}^2. \quad (2.49)$$

Для забезпечення надійності, безпеки та відповідності нормативним вимогам ми використовуємо стандартну площу поперечного перерізу $s_{\text{ЩО-1}} = 2,5 \text{ мм}^2$. Це дає достатній запас міцності, стійкості до перевантажень і забезпечує довговічність системи освітлення. Площа поперечного перерізу кабелю, обрана для мережі освітлення механозбірного цеху, повністю забезпечує необхідну напругу на клеммах світильників EATON W244-WAVELITE, що гарантує їх стабільну роботу, рівномірне освітлення всіх виробничих зон та комфортні умови праці для персоналу.

На рисунку 2.6 детально показано оптимальне розташування світильників у механозбірному цеху. Схема враховує особливості технологічного процесу,

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вимоги до освітленості робочих місць, а також необхідність мінімізації тіньових зон і забезпечення максимальної ефективності освітлювальної системи.

Рисунок 2.6 – Схема розташування світильників у механозбірному цеху

2.7. Розрахунок струму короткого замикання

2.7.1 Розрахунок струму короткого замикання в електромережі 10 кВ

Вважаючи базову потужність рівною 100 МВА та базову напругу 10,5 кВ, ми успішно використовуємо метод апроксимації, детально описаний у додатку А.9, і точно розраховуємо струм короткого замикання, використовуючи відносні одиниці. Цей підхід забезпечує високу точність результатів та відповідає діючим нормативним вимогам проєктування електричних мереж.

Опір системи визначається за формулою:

$$\overset{o}{X}_{c*} = \frac{100}{90} = 1,23. \quad (2.50)$$

Для точного визначення параметрів петлі короткого замикання необхідно обов'язково використати спеціальну схему розрахунку (показану на рис. 2.2) та відповідну схему заміщення (представлену на рис. 2.3). Ці схеми дозволяють адекватно моделювати поведінку системи в аварійних режимах та отримати достовірні результати розрахунків.

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

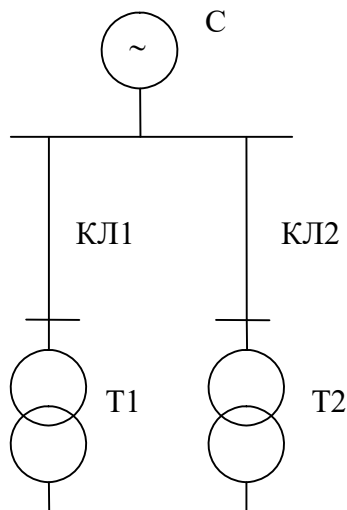


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема короткозамкненого кола

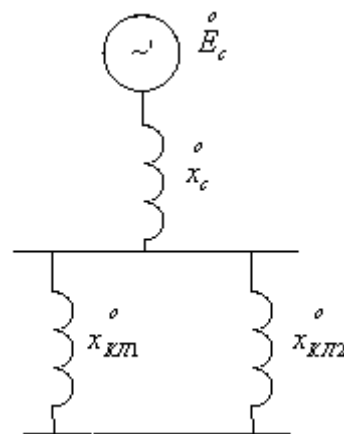


Рисунок 2.3 – Заступна схема короткозамкненого кола

Опір кабельної лінії до заводу з виробництва сільськогосподарської техніки встановленою потужністю 2482кВт розраховується так:

$$X_{KL1*} = 0,095 \cdot 4,12 \cdot \frac{100}{10^2} = 0,39. \quad (2.51)$$

Загальний опір системи та кабельної лінії визначається шляхом сумування отриманих значень:

$$X_{PE3*} = 1,23 + 0,39 = 1,62. \quad (2.52)$$

Далі схема буде істотно спрощена для зручності подальших розрахунків (детально показано на рис. 2.4 та 2.5). Спрощення дозволяє сконцентруватись на ключових параметрах системи та спростити аналіз без втрати точності результатів.

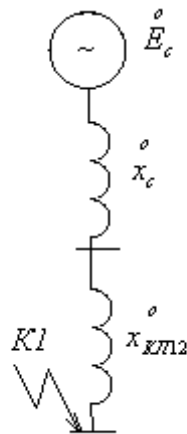


Рисунок 2.4—Заступна схема

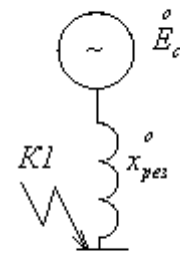


Рисунок 2.5 – Результуюча заступна схема

Базисний струм з боку 10 кВ визначається за формулою:

$$I_{\phi} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА.} \quad (2.53)$$

Струм короткого замикання в точці К1 (з боку 10 кВ) розраховується так:

$$I_{K1} = \frac{5,5}{1,62} = 3,74 \text{ кА,} \quad (2.54)$$

Ударний струм КЗ в точці К1 (з боку 10 кВ) розраховується так:

$$i_{y1} = \sqrt{2} \cdot 1,34 \cdot 3,74 = 7,11 \text{ кА,} \quad (2.55)$$

Необхідно ретельно перевірити термічний опір струму короткого замикання вибраного кабелю, щоб забезпечити його безпечну експлуатацію в аварійних режимах. Мінімальна площа поперечного перерізу, яка здатна витримувати тепловий вплив струму короткого замикання, визначається за формулою:

$$F_{\min} = \frac{3,74}{95} \sqrt{0,25} = 22,0 \text{ мм}^2, \quad (2.56)$$

Отримане значення (22,0 мм²) істотно менше, ніж площа поперечного перерізу раніше вибраного кабелю АСБ-10-3×35 (де кожен провідник має переріз

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

35 мм²). Це підтверджує, що вибраний кабель має достатній запас міцності та повністю відповідає вимогам безпеки при виникненні короткого замикання.

2.7.2 Розрахунок струму короткого замикання в електромережі 0,4 кВ

Для точного розрахунку струму короткого замикання на стороні 0,4 кВ ми успішно використовуємо спеціальний метод, детально наведений у додатку А.9. Цей метод забезпечує високу точність результатів та відповідає діючим нормативним вимогам до проєктування та експлуатації електричних мереж.

Розрахункова схема та відповідна еквівалентна схема короткого замикання для струму короткого замикання першого ступеня наочно показані на рис. 2.6 та рис. 2.7 відповідно. Ці схеми дозволяють адекватно моделювати поведінку системи в аварійних режимах та отримати достовірні результати розрахунків.

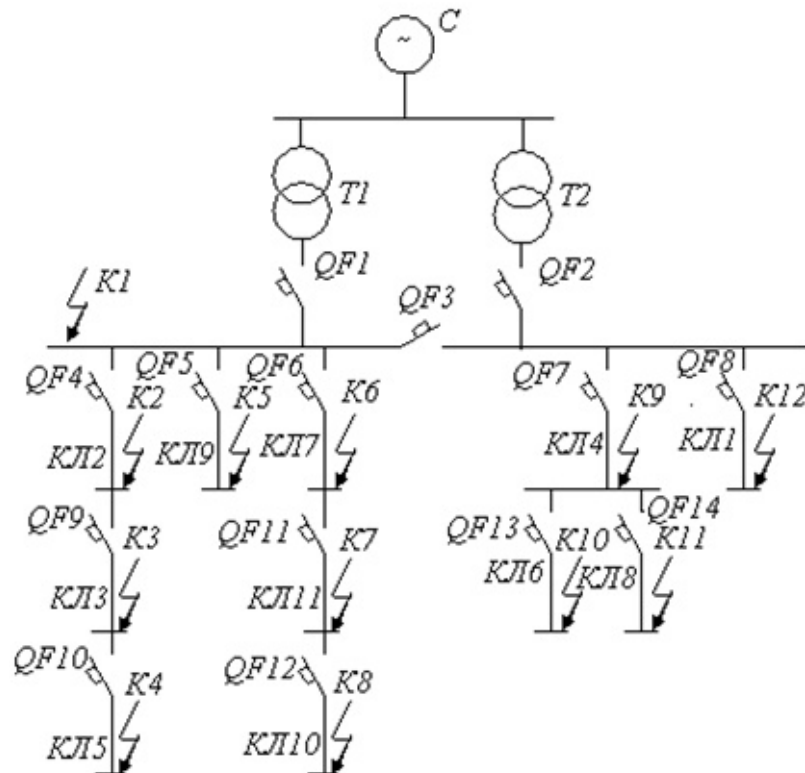


Рисунок 2.6 – Розрахункова схема кола короткого замкненого 0,4 кВ

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

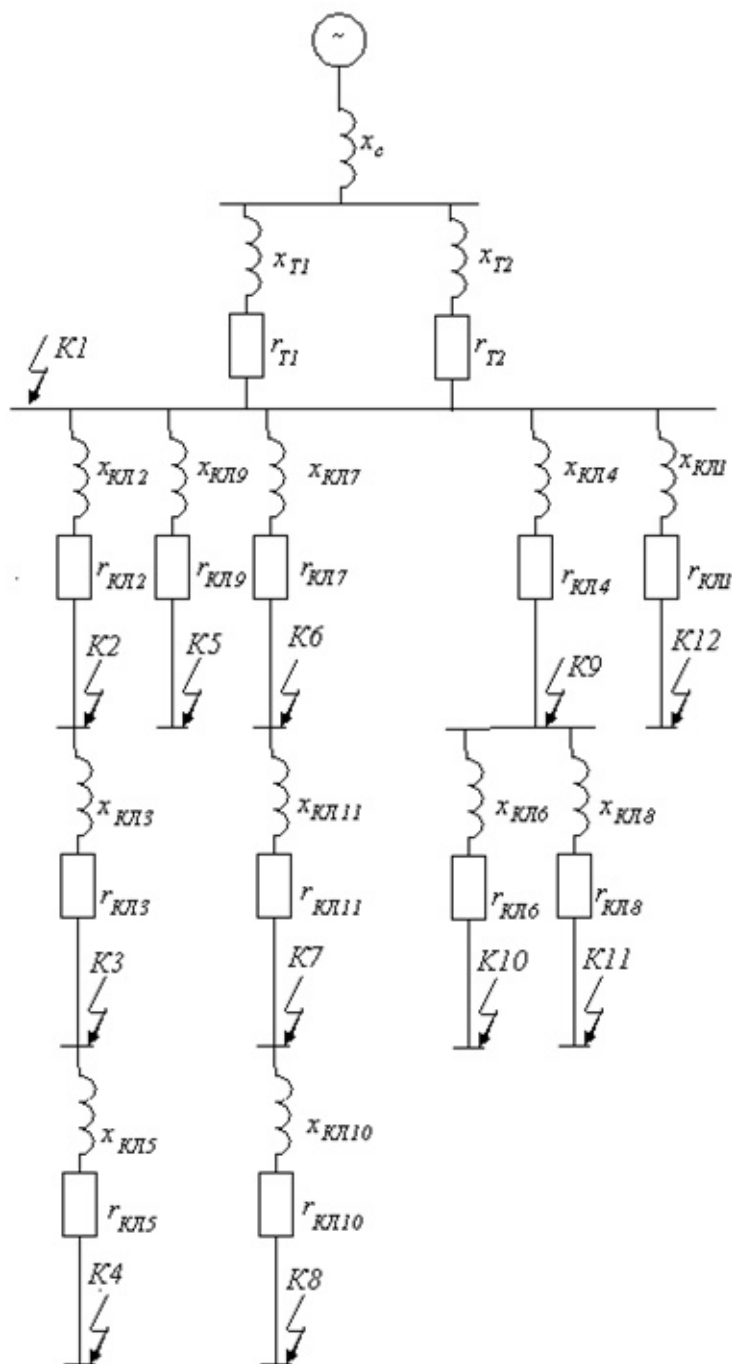


Рисунок 2.7 – Еквівалентна схема короткого замикання 0,4 кВ

Реактивний опір системи розраховується за формулою:

$$x_c = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 3,74} = 1,62 \text{ Ом}; \quad (2.57)$$

Активний опір системи визначається так:

$$r_c = 0,84 \cdot 4,12 = 3,46 \text{ Ом.} \quad (2.58)$$

Еквівалентний реактивний опір кола короткого замикання приведений до боку 0,4 кВ:

$$x_c^o = 1,62 \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 2,59 \text{ мОм;} \quad (2.59)$$

активний:

$$r_c^o = 3,46 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 5,54 \text{ мОм.} \quad (2.60)$$

Опір трансформатора ТМ-400 визначається за такими показниками:
активний:

$$r_T = \frac{5,5 \cdot 10^{-3}}{0,4} \cdot \frac{0,4^2}{0,4^2} = 5,5 \text{ мОм;} \quad (2.61)$$

реактивний:

$$x_T = \frac{4,5}{100} \cdot \frac{0,4^2}{400} = 17,14 \text{ мОм} \quad (2.62)$$

Опір лінії електромережі 0,4 кВ для заводу з виробництва сільськогосподарської техніки встановленою потужністю 2482кВт визначається так:

активний:

$$r_d = 0,26 \cdot 0,094 = 0,0245 \text{ мОм;} \quad (2.63)$$

реактивний:

$$x_d = 0,080 \cdot 0,094 = 0,008 \text{ мОм.} \quad (2.64)$$

Загальний опір електромережі 0,4 кВ у точці К1 визначається шляхом сумування отриманих значень:

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

реактивний:

$$x_{\text{рез}}^o = 3,46 + 17,14 = 19,73 \text{ мОм}; \quad (2.65)$$

активний:

$$r_{\text{рез}}^o = 5,54 + 5,5 + 15 = 19,73 \text{ мОм}. \quad (2.66)$$

Результати всебічного розрахунку опору для всіх ліній систематично наведено в таблиці 2.15.

Таблиця 2.15 – Розрахунок опору ліній

Назва лінії	l, км	r_o , Ом/км	r, мОм	x_o , Ом/км	x, мОм
1	2	3	4	5	6
КЛ1	0,094	0,26	0,0245	0,080	0,008
КЛ2	0,064	0,63	0,04	0,085	0,005
КЛ3	0,093	0,26	0,0243	0,080	0,007
КЛ4	0,091	0,45	0,0407	0,082	0,007
КЛ5	0,057	1,25	0,0713	0,091	0,005
КЛ6	0,067	0,45	0,0299	0,082	0,005
КЛ7	0,197	0,26	0,0514	0,080	0,016
КЛ8	0,053	7,81	0,4139	0,107	0,006
КЛ9	0,115	0,89	0,1028	0,088	0,010
КЛ10	0,058	0,26	0,0151	0,080	0,005
КЛ11	0,079	0,63	0,0494	0,085	0,007

Загальний опір до точки К2 визначається за активними та реактивними складовими:

$$z_{\text{рез}} = \sqrt{26,04^2 + 19,73^2} = 32,67 \text{ мОм}. \quad (2.67)$$

Струм короткого замикання в точці К2 розраховується так:

$$I_k = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{3} \cdot z_{\text{рез}}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 32,67} = 7,1 \text{ кА}. \quad (2.68)$$

Імпульсний струм короткого замикання К2 (з урахуванням коефіцієнта аперіодичної складової) визначається так:

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$i_y = \sqrt{2} k_y \cdot I_k = \sqrt{2} \cdot 1,1 \cdot 7,1 = 11,00 \text{ кА}, \quad (2.69)$$

Необхідно ретельно перевірити термічний опір струму короткого замикання вибраного кабелю 0,4 кВ, щоб забезпечити його безпечну експлуатацію в аварійних режимах. Детальний метод розрахунку для цього наведено в таблиці 2.16.

Таблиця 2.16 – Перевірка на термічну стійкість кабелів мережі 0,4 кВ

Точка КЗ	$x_{рез}$, мОм	$r'_{дод}$, мОм	$r_{рез}$, мОм	$z_{рез}$, мОм	I_k , кА	F_{min}^2 , мм ²	k_y	i_y , кА	$F_{прин}^2$, мм ²
K1	19,73	15	46,06	50,11	4,61	19	1	6,52	120
K2	19,73	20	56,08	59,45	3,88	16	1	5,49	50
K3	19,73	30	66,06	68,95	3,35	14	1	4,74	120
K4	19,73	40	46,08	50,13	4,61	19	1	6,52	70
K5	19,73	20	46,11	50,15	4,6	19	1	6,51	25
K6	19,73	20	56,07	59,44	3,89	16	1	5,50	70
K7	19,74	30	66,09	68,97	3,35	14	1	4,74	120
K8	19,73	40	46,45	50,47	4,58	19	1	6,48	25
K9	19,74	20	56,14	59,51	3,88	16	1	5,49	35
K10	19,73	30	56,05	59,42	3,89	16	1	5,50	120
K11	19,73	30	46,09	50,13	4,61	19	1	6,52	50
K12	28,8	20	72,2	77,76	2,9	15,6	1	4,2	70

Після ретельної перевірки встановлено, що всі нормативні умови повністю виконано. Отже, ми з повним підставою зберігаємо вибраний кабель 0,4 кВ, оскільки він має достатній запас міцності, відповідає вимогам безпеки та забезпечує надійну роботу системи навіть у випадку виникнення короткого замикання.

2.8 Вибір вимикачів, захисного та вимірювального обладнання

2.8.1 Вибір вимикачів та захисного обладнання

2.8.1.1 Вибір вимикачів навантаження

Вибір та ретельна перевірка вимикача навантаження ТП для заводу з виробництва сільськогосподарської техніки встановленою потужністю 2482кВт слід проводити строго відповідно до детальної методики, наведеної в додатку АА.10. Ця методика забезпечує надійність роботи обладнання та відповідає діючим нормативним вимогам безпеки.

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ				Арк.
									44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

«За номінальною напругою» [1] вимикачів навантаження

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

«За номінальним струмом вимикаючого пристрою» [1] вимикача навантаження

$$I_{\text{ном вн}}=400 \text{ А} \geq I_{\text{р max}}=67,1 \text{ А}, \quad (2.71)$$

«За динамічною стійкістю» [1] вимикачів навантаження

$$i_{\text{ном дин}}=25 \text{ кА} \geq i_{\text{у max}}=3,01 \text{ кА}, \quad (2.72)$$

«За термічною стійкістю» вимикачів навантаження

$$B_T = I_T^2 t_T = 10^2 \cdot 1 = 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \geq B_K = I_{K \text{ max}}^2 t_n = 1,59^2 \cdot 0,25 = 0,63 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}, \quad (2.73)$$

«За номінальним струмом вимкнення запобіжника» [1] ПКТ-10

$$I_{\text{ном з}}=50 \text{ А} \geq I_{K \text{ max}}=67,1 \text{ А}, \quad (2.74)$$

«За номінальною потужністю вимкнення запобіжника» [1] ПКТ-10

$$S_{\text{ном вимк}}=200 \text{ МВА} \geq S_{\text{р вимк}}=\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 1,59 = 28,86 \text{ МВА}, \quad (2.75)$$

На основі вищезазначених всебічних даних ми обґрунтовано обрали сучасний вимикач навантаження ВНА-10/630-20-з УЗ та надійний запобіжник ПКТ-10. Отримані результати перевірок систематично наведено в таблиці 2.17.

Таблиця 2.17 – Вибір вимикачів навантаження

Дані каталогу продукції	Дані проєктування
$U_{\text{ном вн}}=10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}}=10 \text{ кВ}$
$I_{\text{ном вн}}=400 \text{ А}$	$I_{\text{р max}}=67,1 \text{ А}$
$i_{\text{ном дин}}=25 \text{ кА}$	$i_{\text{у max}}=3,01 \text{ кА}$
$B_T = I_T^2 t_T = 10^2 \cdot 1 = 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_K = I_{K \text{ max}}^2 t_n = 1,59^2 \cdot 0,25 = 0,63 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
$I_{\text{ном з}}=50 \text{ А}$	$I_{\text{р max}}=67,1 \text{ А}$
$I_{\text{ном.вимк.з}}=20 \text{ кА}$	$I_{K \text{ макс}}=1,59 \text{ кА}$
$S_{\text{ном вимк}}=200 \text{ МВА}$	$S_{\text{р вимк}}=\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 1,59 = 28,86 \text{ МВА}$

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Через повну відповідність усім нормативним вимогам та технічним характеристикам ми обґрунтовано обрали вказаний вимикач навантаження ВНА-10/630-20-з УЗ , який додатково оснащений ефективним запобіжником типу ПКТ-10 для захисту трансформатора.

2.8.1.2 Вибір автоматичних вимикачів

З боку 0,4 кВ трансформатора, а також на вході розподільного пункту заводу з виробництва сільськогосподарської техніки встановленою потужністю 2482кВт ми встановили автоматичні вимикачі. Детальний метод вибору такого обладнання всебічно описано в додатку А.10 і включає такі ключові параметри:

«Номінальна напруга автоматичного вимикача» [1]

$$U_{\text{ном АВ}} = 400 \text{ В} \geq U_{\text{ном}}, = 380 \text{ В}, \quad (2.76)$$

«Номінальний струм розчіплювача автоматичного вимикача» [1]

$$I_{\text{ном.розщ}} = 1000 \text{ А} \geq I_p = 868,4 \text{ А}, \quad (2.77)$$

«Граничний струмом вимкнення автоматичного вимикача» [1]

$$I_{\text{гр.вимк}} = 10 \text{ кА} \geq I_k = 7,1 \text{ кА}. \quad (2.78)$$

Результати ретельної перевірки обраного автоматичного вимикача систематично зведені в таблицю 2.18. Аналогічним чином, ми обґрунтовано вибрали автоматичні вимикачі для ефективного захисту електромережі 0,4 кВ механозбірного цеху. Отримані результати всебічних розрахунків детально зведені в таблицю 2.19.

Таблиця 2.18 – Вибір автоматичних вимикачів для ТП

Приєднання	Вимикач	Каталожні дані			Розрахункові дані		
		$U_{\text{ном}},$ кВ	$I_{\text{ном.розщ}},$ А	$I_{\text{гр.вимк}},$ кА	$U_{\text{ном}},$ кВ	$I_p,$ А	$I_k,$ кА
1	2	3	4	5	6	7	8
Ввід 1	COMPACT NSX1600F	0,4	1000	10	0,4	868,4	4,78

Продовження таблиці 2.18

1	2	3	4	5	6	7	8
Ввід 2	COMPACT NSX1600F		1000	10			
Секційний	COMPACT NSX630F		500	10			
ТП1–ПР1	COMPACT NSX630F		320	10		68,8	4,02
ТП1–ПР2	COMPACT NSX160F		100	10		53,8	3,45
ТП1–ПР4	COMPACT NSX630F		400	10		53,4	4,77
ТП1–ПР7	COMPACT NSX250F		250	10		84,8	4,77
ТП1–ПР9	COMPACT NSX1600F		1000	10		79,1	4,01
ТП2–ПР3	COMPACT NSX250F		200	10		62,7	3,34
ТП2–ПР5	COMPACT NSX160F		63	10		20,7	4,72
ТП2–ПР6	COMPACT NSX250F		250	10		65,6	4
ТП2–ПР8	COMPACT NSX160F		160	10		22,7	4,01
ТП2–ПР11	COMPACT NSX160F		20	10		16,7	4,7
ТП2–ПР10	COMPACT NSX160F		125	10		31,9	2,9

Таблиця 2.19 – Вибір автоматичних вимикачів для електромережі механозбірного цеху

Обладнання	I _p , А	Тип захисного апарата	I _{в.ном} , А	I _{розч.ном} , А
1	2	3	4	5
Зварювальний автомат NF-146	1,85	COMPACT NSX160F	160	2
Радіально-свердлильний верстат ММ-30	1,85	COMPACT NSX160F	160	2
Радіально-свердлильний верстат ММ-30	1,85	COMPACT NSX160F	160	2
Радіально-свердлильний верстат ММ-30	1,85	COMPACT NSX160F	160	2
Зубообробний верстат MF-22	2,78	COMPACT NSX160F	160	3
Горизонтально-фрезерий верстат EU-75	13,9	COMPACT NSX160F	160	16
Зубообробний верстат MF-22	13,9	COMPACT NSX160F	160	16
Гідравлічні прес NOI-70	1,85	COMPACT NSX160F	160	2

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Продовження таблиці 2.19

1	2	3	4	5
Гідравлічні прес NOI-70	1,85	COMPACT NSX160F	160	2
Гідравлічні прес NOI-70	1,85	COMPACT NSX160F	160	2
Гідравлічні прес NOI-70	1,85	COMPACT NSX160F	160	2
Прес-автомат PA-90	13,9	COMPACT NSX160F	160	16
CNC machining centers CMC 4	18,5	COMPACT NSX160F	160	20

2.8.2 Вибір трансформаторів струму, амперметрів, лічильників активної та реактивної енергії

Для ефективного контролю струму на лініях електропередачі ми успішно встановили сучасні амперметри типу TS 5590. Ці прилади забезпечують високу точність вимірювань та стійкість до перевантажень, що критично важливо для надійного функціонування системи.

Для всебічного розрахунку споживання потужності на вході підстанції 0,4 кВ ми ретельно використовували високоточні лічильники типу НІК 2303. Ці лічильники мають широкий діапазон вимірювання, високий клас точності та повністю відповідають сучасним вимогам до обліку електроенергії.

Крім того, для цілей детального технічного обліку на кожній лінії було встановлено індивідуальні лічильники, що дозволяє точно фіксувати споживання енергії на кожному окремому напрямку.

Вимірювальні приладів живляться від трансформаторів струму. Ці трансформатори були ретельно відібрані та всебічно перевірені відповідно до детальних інструкцій, наведених у додатку А.10. Вибір здійснювався за такими ключовими параметрами:

- «за первинним струмом» [1]

$$I_{\text{ном 1 TC}} = A \geq I_{\text{p max}} = 868,4 \text{ А}, \quad (2.79)$$

- «за напругою» [1]

$$U_{\text{ном TC}} = 0,6 \text{ кВ} \geq U_{\text{ном}} = 0,4 \text{ кВ}, \quad (2.80)$$

- «за динамічною стійкістю» [1]

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

$$i_{\text{ном дин}}=51 \text{ кА} \geq i_{y \text{ max}}=3,01 \text{ кА}, \quad (2.81)$$

– «за термічною стійкістю» [1]

$$B_T=100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \geq B_K=1,59^2 \cdot 0,25=0,63 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}, \quad (2.82)$$

– «за навантаженням вторинної обмотки» [1]

$$s_{2p}=1,9 \text{ ВА} \geq s_{2\text{ном}}=0,55 \text{ ВА} \quad (2.83)$$

Для точного розрахунку струму комутації кола ми ретельно вибираємо відповідне значення струму. Для цих цілей було обрано трансформатор типу ТШ-0,66, що повністю відповідає вимогам проєкту (детально представлено в таблиці 2.20). Детальний розрахунок навантаження вторинної обмотки трансформатора струму виконано в таблиці 2.21, де наведені всі необхідні технічні параметри та результати перевірок.

Таблиця 2.20 – Вибір трансформаторів струму для вмикання кіл розрахункового обліку

Дані каталогу продукції	Дані розрахунку
$I_{\text{ном1TC}}=1000 \text{ А}$	$I_{p \text{ max}}=868,4 \text{ А}$
$U_{\text{номTC}}=0,66 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}}=0,4 \text{ кВ}$
$i_{\text{ном дин}}=51 \text{ кА}$	$i_{y \text{ max}}=3,01 \text{ кА}$
$B_T = I_T^2 t_T = 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_K = I_{K \text{ max}}^2 t_n = 1,59^2 \cdot 0,25 = 0,63 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
$s_{2\text{ном}}=1,9 \text{ ВА}$	$s_{2p}=0,55 \text{ ВА}$

Таблиця 2.21 – Навантаження трансформатора струму ТШ-0,66

Назва обладнання	Тип обладнання	Спожита потужність, ВА
Амперметр	TS 5590	0,5
Лічильник енергії	НІК 2303	0,05
Всього	—	0,55

Для здійснення якісного технічного вимірювання ми вибрали сучасний трансформатор струму типу Т-0,66, який забезпечує високу точність вимірювань,

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

має високий клас точності (0,5) та повністю відповідає діючим нормативним вимогам (детально представлено в таблиці 2.22).

Таблиця 2.22 – Вибір трансформаторів струму для кіл технічного обліку

Дані каталогу продукції	Дані розрахунку
$I_{ном1TC}=1000 \text{ A}$	$I_{p \text{ max}}=848,4 \text{ A}$
$U_{номTC}=0,66 \text{ кВ}$	$U_{ном}=0,4 \text{ кВ}$
$i_{ном \text{ дин}}= 51 \text{ кА}$	$i_{y \text{ max}}=3,01 \text{ кА}$
$B_T = I_T^2 t_T = 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_K = I_{K \text{ max}}^2 t_n = 1,59^2 \cdot 0,25 = 0,63 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
$s_{2ном} = 1,9 \text{ ВА}$	$s_{2p} = 0,55 \text{ ВА}$

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРЕС-АВТОМАТА РА-90

3.1. Розрахунок потужності для розподільного механізму

Розподільний механізм повинен надійно забезпечувати такі ключові робочі параметри: номінальне зусилля на рівні 150 кг, а також стабільну робочу швидкість руху 0,4 м/с. Для обґрунтованого вибору відповідного приводного двигуна розподільного механізму ми успішно використовуємо спеціальний метод, детально описаний у додатку В. Цей підхід забезпечує точність розрахунків та відповідає діючим нормативним вимогам.

Для точного визначення необхідної статичної потужності під час експлуатації механізму ми застосовуємо таку формулу:

$$P_{\text{ст}} = \frac{9,8 \cdot 150 \cdot 0,4}{0,85} = 0,69 \text{ кВт.} \quad (3.1)$$

Електрична потужність, яка є критично необхідною для початкового обґрунтованого вибору приводного двигуна розподільного механізму, визначається за формулою:

$$P_{\text{р.д}} = \frac{0,69}{0,7} = 0,99 \text{ кВт.} \quad (3.2)$$

Після ретельної оцінки ми вибираємо сучасний електродвигун АИР 80В4,, який має такі технічні характеристики:

номінальна потужність $P_{\text{ном}} = 1,1 \text{ кВт};$

швидкість обертання $n = 1390 \text{ об/хв};$

коефіцієнт корисної дії $\eta = 76,2 \text{ } \%$;

момент інерції $G_{\text{ДДВ}} = 3,1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ						
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Мельник В.Ю.			Електропостачання заводу з виробництва сільськогосподарської техніки встановленою потужністю 2482кВт. Пояснювальна записка.			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Гадай А.В.						Д	51	5	
								ФАБЕ, гр. ЕЕ-43			
Н. Контр.		Ващелюк Ю.І.									
Затверд.		Волинець В.І.									

параметр $E_H = 0,1$;

максимальний крутний момент $M_{\max} = 2800 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

Розрахункове значення:

$$Z \cdot \frac{GD_{\Sigma}^2}{1,2 \cdot GD_{\text{ДВ}}^2} = 10 \cdot \frac{2,1+3,1}{1,2 \cdot 3,1} = 13,98. \quad (3.3)$$

Додатково враховуються такі коефіцієнти:

коефіцієнт корисної дії $\eta_{\text{екв.б}}^* = 0,65$;

коефіцієнт $k_0 = 1,15$ при $E_0 = 0,5$;

коефіцієнт $k_p = 0,85$.

Потужність вибраного електродвигуна АИР 80В4 в реальних теплових умовах експлуатації визначається за формулою:

$$P_{\text{д.т}} = \frac{0,7 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \times \sqrt{\frac{0,5 \cdot 1 \cdot 0,69}{0,1}}}{0,85 \cdot 1,15 \cdot (0,8 - 1,1 \cdot (0,8 - 0,65))} = 3,49 \text{ кВт}. \quad (3.4)$$

Проведемо перевірку відповідності: умова

$$P_{\text{д.т}} = 3,49 \text{ кВт} < P_{\text{ном}} = 1,1 \text{ кВт}$$

виконується. Отже, згідно зі всіма аналізованими тепловими умовами експлуатації, обґрунтований вибір електродвигуна АИР 80В4 є повністю правильним та обґрунтованим.

Максимальний статичний крутний момент, який прикладається до валу вибраного двигуна АИР 80В4 під час роботи розподільного механізму, розраховується так:

$$M_{\text{ст.мах}} = \frac{9550 \cdot 0,69}{960} = 6,882 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (3.5)$$

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Крутний момент, що ефективно генерується електродвигуном АИР 80В4 для забезпечення необхідного прискорення розподільного механізму, визначається за формулою:

$$M_d = \frac{3,1+2,1}{38,2} \cdot \frac{960}{0,4} \cdot 0,1 = 32,67 \text{ Нм.} \quad (3.6)$$

Перевіряємо максимальний крутний момент:

$$M_{MAX} = 2800 \text{ Нм} > 1,1 \cdot (6,882 + 32,67) = 43,51 \text{ Нм.} \quad (3.7)$$

Після ретельного аналізу встановлено, що умова перевірки крутного моменту для вибраного електродвигуна АИР 80В4 повністю виконана. Це підтверджує правильність зробленого вибору та забезпечує надійну та безпечну експлуатацію розподільного механізму в усіх передбачених режимах роботи.

3.2. Розрахунок і вибір обладнання в схемі керування механізмом розподілу

Вибір необхідного електрообладнання для схеми керування здійснюється строго відповідно до детальної методики, описаної в додатку А.10. Ця методика забезпечує надійність роботи системи та повну відповідність діючим нормативним вимогам безпеки та експлуатації. Ключові параметри вибору обладнання:

- «номінальна напруга апаратів» [1] схеми керування

$$U_{НОМ.М} = 380 \text{ В} \leq U_{НОМ.а} = 400 \text{ В,} \quad (3.8)$$

- «номінальний струм апаратів» [1] схеми керування

$$I_{д.НОМ} = 2,9 \text{ А} \leq I_{НОМ.а} = 6 \text{ А,} \quad (3.9)$$

- «струм розчіплювача автоматичного вимикача» [1]

$$I_{д.НОМ} = 2,9 \text{ А} \leq I_{уст} = 3,36 \text{ А.} \quad (3.10)$$

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір магнітних пускатів, які забезпечують надійне керування двигунами прес-автомата РА-90, детально наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 — Вибір магнітних пускатів прес-автомата РА-90

Двигун	Каталожні дані				Магнітний пускач	
	Р _д , кВт	η _д , %	cosφ	I _д , А	Тип	I _{ном.а} , А
АИР 80А4 механізму розподілу	1,1	76,2	0,77	2,9	FC-1/6А	6
АИР 80А4 забору тари	1,1	72	0,73	3,2	FC-1/6А	6
АИР 80А4 транспортера пустої тари	1,1	72	0,73	3,2	FC-1/6А	6
АИР 80А4 транспортера подачі тари	1,1	72	0,73	3,2	FC-1/6А	6
АИР 80А4 перехідного транспортера	1,1	72	0,73	3,2	FC-1/6А	6
АИР 80В4 механізму розподілу	1,5	76	0,75	4,0	FC-1/6А	6
АИР 80В4 накопичувача	1,5	76	0,75	4,0	FC-1/6А	6

Розрахунок струмів для прес-автомата РА-90:

$$I_p = 2,9 + 3,2 + 3,2 + 3,2 + 4,0 + 4,0 + 3,2 = 23,7 \text{ А.} \quad (0.7)$$

Піковий (максимальний) струм прес-автомата РА-90, що виникає під час запуску або перевантажень:

$$I_{\text{пик}} = 6 \cdot 2,9 + 3,2 + 3,2 + 3,2 + 4,0 + 4,0 + 3,2 = 37,9 \text{ А.} \quad (0.8)$$

Для ефективного захисту електричного кола прес-автомата РА-90 ми вибираємо автоматичний вимикач COMPACT NSX160F, який забезпечує надійний захист від перевантажень та коротких замикань. Повна технічна інформація про цей вимикач, взята з офіційного каталогу продукції виробника, детально наведена в таблиці 3.2.

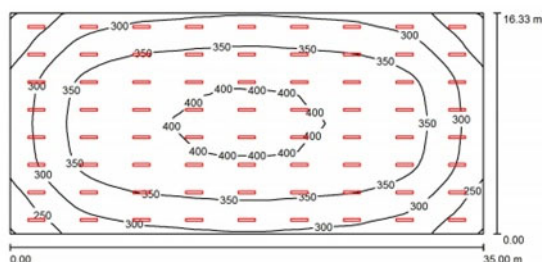
Цей автоматичний вимикач повністю відповідає всім вимогам проекту, має достатній запас за струмом та забезпечує надійний захист прес-автомата РА-90 в усіх режимах роботи, включаючи пускові та аварійні ситуації.

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.2 – Вибір та перевірка вимикача прес-автомата РА-90

Дані проєктування	Дані каталогу COMPACT NSX160F
$U_{\text{ном.м}} = 0,38 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном.а}} = 0,4 \text{ кВ}$
$I_p = 23,7 \text{ А}$	$I_{\text{ном.а}} = 160 \text{ А}$
$I_p = 23,7 \text{ А}$	$I_{\text{розч.ном}} = 16 \text{ А}$
$I_{\text{пик}} = 37,9 \text{ А}$	$I_{\text{с.в}} = 7 \cdot 16 = 112 \text{ А}$

ділянки точної обробки / Резюме



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

Значения в Lux, Масштаб 1:251

Поверхность	ρ [%]	E_{sp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{sp}
Рабочая плоскость	/	338	199	407	0.587
Полы	20	324	204	387	0.632
Потолок	70	107	81	220	0.755
Стенки (4)	50	226	136	483	/

Рабочая плоскость:	UGR	Вдоль-	Поперек	К оси светильников
Высота: 0.850 m		Левая стенка	19	
Растр: 32 x 64 Точки		Нижняя стенка	18	
Краявая зона: 0.000 m		(CIE, SHR = 0.25.)		

Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ (Светильник) [lm]	Φ (Лампы) [lm]	P [W]
1	72	EATON WL24454KZ EATON - WAVEWHITE LED (1.000)	4587	4587	42.0
			Всего: 330264	Всего: 330264	3024.0

Удельная подсоединенная мощность: 5.29 W/m² = 1.56 W/m²/100 lx (Поверхность основания: 571.43 m²)

Рисунок 4.2 – Кількісні дані, отримані в результаті комп'ютерного моделювання

в'язальна ділянка / 3D - визуализация

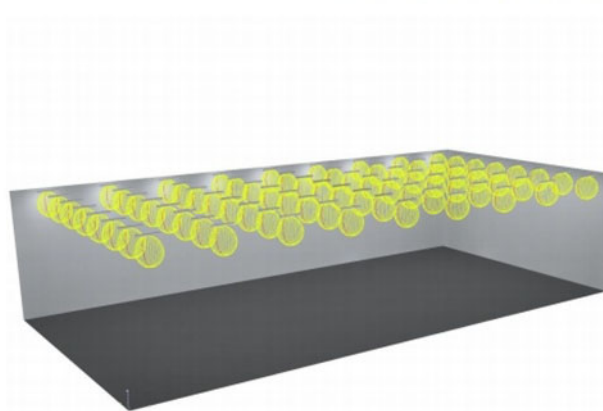


Рисунок 4.3 – Поточний стан освітлення механозбірного цеху

Для всебічного розрахунку споживання електроенергії різними видами обладнання у механозбірному цеху була створена спеціальна таблиця аналізу за допомогою широко відомого та надійного програмного продукту Microsoft Excel. Цей інструмент дозволяє систематизувати дані, автоматизувати розрахунки, будувати діаграми та прогнозувати майбутні витрати. Отримані результати всебічного розрахунку детально відображено на рис. 4.4 та 4.5.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Назва приймачів або РП	К-сть	Рвст, кВт приведена ТВ=100%		К _{вик}	cosj	tgj	Середня потужність за найзавантаженішу зміну		п _ф	К _м	Розрахункове навантаження			
		Одного	Сумарн.				Рзм, кВт	Qзм, кВАр			Рр, кВт	Qр, кВАр	Sp, кВА	Ip, А
РП-1														
Гр-А (приймачі із змінним графіком навантаження)														
Зварювальний автомат NF-146	1	2,2	2,2	0,3	0,82	0,70	0,66	0,46						
Радіально-свердильний верстат ММ-30	4	2,3	9,2	0,3	0,82	0,70	2,76	1,93						
Зубообробний верстат MF-22	1	8,3	8,3	0,3	0,82	0,70	2,49	1,74						
Горизонтально-фрезерний верстат EU-75	1	8,7	8,7	0,3	0,82	0,70	2,61	1,83						
Всього гр. А	7		28,4	0,30			8,52	5,96	4,73	2,01	17,16	6,56	18,37	26,51
ВСЬОГО РП1	7		28,4				8,52	5,96			17,16	6,56	18,37	26,51

Рисунок 4.4 – Результати розрахунку для обладнання групи 1 у механозбірному цеху

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Назва приймачів або РП	К-сть	Р _{вст} , кВт приведена ТВ=100%		K _{вик}	cosϕ	tgϕ	Середня потужність за найзавантаженішу зміну		p _ф	K _м	Розрахункове навантаження			
		Одного	Сумарн.				Р _{зм} , кВт	Q _{зм} , кВАр			p _р , кВт	Q _р , кВАр	Sp, кВА	I _р , А
РП-2														
Назва приймачів або Гр-А (приймачі із змінним графіком навантаження)														
Гідравлічний прес NOI-70	4	2,2	8,8	0,3	0,82	0,70	2,64	1,85						
Прес-автомат PA-90	1	8,5	8,5	0,3	0,82	0,70	2,55	1,79						
CNC machining centers CMC 4	1	9	9,0	0,3	0,82	0,70	2,70	1,89						
Всього гр. А	6		26,3	0,30			7,89	5,52	4,01	2,13	16,81	6,08	17,88	25,80
ВСЬОГО РП2	6		26,3				7,89	5,52			16,81	6,08	17,88	25,80
Зубообробний верстат MF-22	1		54,70	8,3		0,3	0,82	16,41	11,49			33,97	12,64	

Рисунок 4.5 – Результати розрахунку для обладнання групи 2 у механозбірному цеху

РОЗДІЛ 5

ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА

У випадку, коли в електроустановках механозбірного цеху не використовується природний заземлювальний провідник, максимально допустимий опір системи повторного заземлення строго не повинен перевищувати 10 Ом. Усі необхідні розрахунки будуть ретельно виконані відповідно до детально описаних методів, наведених у додатку В.

Вхідні дані для розрахунку параметрів заземлювальної системи:

- питомий опір верхнього шару ґрунту 65 Ом·м
- питомий опір нижнього шару ґрунту 542 Ом·м
- ширина кутника: 50 мм

Розрахунковий питомий опір ґрунту для горизонтальних та вертикальних заземлювальних провідників

$$\rho_p = \frac{65 \cdot 1,5 \cdot 542 \cdot 3}{65 \cdot 1,5 \cdot (3 - 1,08 + 0,76) + 542 \cdot (1,08 - 0,76)} = 227,2 \text{ Ом}\cdot\text{м} \quad (0.1)$$

Опір одного вертикального заземлювального провідника:

$$r_b = \frac{0,366 \cdot 227,2}{4} \left(\lg \frac{2 \cdot 3}{0,95 \cdot 0,050} + \lg \frac{4 \cdot 2,26 + 3}{4 \cdot 2,26 - 3} \right) = 62,4 \text{ Ом.} \quad (0.2)$$

Мінімальна кількість вертикальних електродів:

$$n_{\text{пр}} = \frac{62,4}{10 \cdot 0,70} = 9,91 \text{ шт,} \quad (0.3)$$

Отримане значення округляємо до цілого числа в більшу сторону 10 вертикальних електродів.

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ						
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання заводу з виробництва сільськогосподарської техніки встановленою потужністю 2482кВт. Пояснювальна записка.			Літ.	Арк.	Аркушів	
Розроб.	Мельник В.Ю.							Д	59	2	
Перевір.	Гадай А.В.							ФАБЕ, гр. ЕЕ-43			
Н. Контр.	Ващелюк Ю.І.										
Затверд.	Волинець В.І.										

Довжина горизонтального провідника, що з'єднує вертикальні електроди:

$$\ell_r = (10 - 1) \cdot 3 = 27,0 \text{ м.} \quad (0.4)$$

Опір горизонтального заземлювача

$$r_r = \frac{0,366 \cdot 3,5 \cdot 65}{27,0 \cdot 0,5} \cdot \lg \frac{27,0^2}{0,065 \cdot 0,76} = 25,74 \text{ Ом.} \quad (0.5)$$

Загальний опір заземлювального провідника:

$$R = \frac{10 \cdot 25,74/0,5}{25,74/0,5 - 10} = 10,91 \text{ Ом.} \quad (0.6)$$

Враховуючи наявність з'єднувальної смуги, уточнена кількість вертикальних заземлювальних провідників:

$$n = \frac{62,4}{10,91 - 0,70} = 8,2 \text{ шт.} \quad (0.7)$$

Для забезпечення достатнього запасу надійності ми приймаємо рішення використати 9 вертикальних заземлювальних провідників.

Система заземлення складається з вертикальних кутових стрижнів, кожен з яких має ширину 50 мм. Стрижні розміщені рядами поруч із механозбірним цехом на відстані 3 метри один від одного, що забезпечує рівномірний розподіл струмів занулення. Вертикальні елементи з'єднані між собою міцними сталевими смугами шириною 65 мм, які виконують роль горизонтальних провідників. Вся заземлювальна конструкція встановлена на глибині 0,76 метра під землею, що відповідає нормативним вимогам. З'єднання між усіма компонентами системи виконані високоякісним зварюванням, а місця стиків додатково покриті асфальтовою фарбою для ефективного захисту від корозії та збільшення терміну служби конструкції.

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

У рамках цього кваліфікаційного проекту було детально розраховано електричне навантаження як силового, так і освітлювального обладнання для механозбірного цеху, а також для заводу з виробництва сільськогосподарської техніки встановленою потужністю 2482кВт.

Для надійного електроживлення заводу з виробництва сільськогосподарської техніки було обґрунтовано обрано дві підстанції, кожна з яких має номінальну потужність 2×400 кВА. Ці підстанції повністю оснащені надійними кабелями типу 2×УКП-04-160.

Оскільки центр електричного навантаження розташований у межах існуючої території заводу, підстанції було встановлено на невикористовуваній ділянці.

Для живлення підстанцій використовують кабелі типу АСБ-10 3×35 мм². Усі підстанції для заводу з виробництва сільськогосподарської техніки оснащені як сучасним високовольтним, так і надійним низьковольтним обладнанням.

У електричній мережі механозбірного цеху використовуються кабелі типу ВВГнг-LS-0,4, які мають підвищену пожежобезпеку та знижене виділення диму при горінні. Розподіл електроенергії здійснюється через спеціальні розподільчі пункти типу РП 8204, а захист окремих ліній та обладнання забезпечують автоматичні вимикачі типу COMPACT NSX160F.

Були проведені розрахунки параметрів живлення для прес-автомата РА-90. У якості приводних двигунів механізму розподілу використовуються електродвигуни типу АИР 80А4 з номінальною потужністю 1,1 кВт. Керування двигунами здійснюється за допомогою надійних магнітних пускатрів типу FC-1/6А, а захист від перевантажень забезпечується сучасними тепловими реле типу FTR32В 2,8-3,1. Для комплексного захисту прес-автомата РА-90 від аварійних режимів роботи було обґрунтовано обрано потужний автоматичний вимикач типу COMPACT NSX160F з номінальним

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

струмом 16 А. Як кабель живлення для прес-автомата РА-90 використовується сучасний кабель типу ВВГнг-LS-0,4 4×2,5.

За допомогою програмного забезпечення DIALux було обрано світильник типу EATON W244-WAVELITE . Вибір цього світильника був обґрунтований результатами комп'ютерного моделювання освітлення, що враховує геометрію приміщення та вимоги до рівня освітленості на робочих місцях. Навантаження механозбірного цеху було розраховано за допомогою програмного забезпечення MS Excel..

Крім того, для механозбірного цеху було спроектовано сучасну систему вторинного заземлення, яка забезпечує надійний захист персоналу від ураження електричним струмом.

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

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. Проектування електричної частини електричних станцій : навчальний посібник / П. Д. Лежнюк, В. М. Лагутін, В. В. Тептя. Вінниця: ВНТУ, 2019. 194 с.
3. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення : нак. М-ва регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 3 жовт. 2018 р. № 264. Вид. офіційне. Київ, 2018. 133 с..
4. Правила улаштування електроустановок. Видання офіційне. Міненерговугілля України. Х.: Форт, 2017. 760 с.
5. Правила безпечної роботи з інструментом. К.: Форт, 2001.
6. Кобилянський О.В. Охорона праці у галузі. Вінниця: ВНТУ, 2005. 39 с.
7. Корпусні автоматичні вимикачі Schneider Electric: вебсайт. URL: <https://www.se.com/ua/uk/product/C16F3TM160/%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9-%D0%B2%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%87-compact-nsx160f-36ka-3p3d-160a-%D0%B7-%D1%80%D0%BE%D0%B7%D1%87%D1%96%D0%BF%D0%BB%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D1%87%D0%B5%D0%BC-tmd-ac/?selectedNodeId=46306199976>
8. Кабель ВВГ, ВВГнг, ВВГп : вебсайт. URL: <https://vse-e.com/kabel-i-provod/marki-kabelia/avvg-avvgng-kabel-silovoy>.
9. Щити освітлення : вебсайт. URL: <http://akonit-box.com/catalog/schity-osvescheniya>
10. Ящик розподільчий : вебсайт. URL: <https://nanohomeelectro.com.ua/p86547888-yaschik-raspredelitelnyj.html>

					ЛНТУ. 971071.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63