

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

“Допущено до захисту”
Зав. кафедри ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____Петро ПЛЄШКОВ

“ ___ “ _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

**«Розробка системи електропостачання металообробного цеху
ПАТ “НВП “Радій” з оптимізацією освітлювальних систем
Development of a power supply system for the metalworking shop of
PJSC RPE Radium with optimization of lighting systems»**

Виконав здобувач ІV курсу групи ЕЕ-22МБ
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____ Надія БАЛАНУЦА
« ___ » _____ 2025 р.

Керівник роботи
професор, канд. техн. наук
_____ Петро ПЛЄШКОВ

« ___ » _____ 2025 р.

Рецензент

м. Кропивницький

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет ЦЗДО

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма Електротехнічні системи електроспоживання

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ *Петро ПЛЄШКОВ*

«_____» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Балануца Надія Сергіївна

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) *Розробка системи електропостачання*
металообробного цеху ПАТ "НВП "Радій" з оптимізацією освітлювальних
систем

2. Керівник роботи (проекту) *Плешков Петро Григорович, к.т.н., професор*

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

3. Строк подання студентом роботи до захисту *02.06.2025 р.*

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту) _____
Вступ. Загальна характеристика технологічного процесу; Розрахунок
електричних навантажень цехових електроприймачів; Побудова графіків
електричних навантажень цеху; Вибір напруги і електричних схем зовнішнього
та внутрішнього електропостачання; Режими реактивної потужності
системи електропостачання; Вибір кількості, потужності трансформаторів
та місця розташування цехових трансформаторних підстанцій (ТП); Вибір
схеми та розрахунок цехової мережі; Розрахунок струмів коротких замикань і
вибір високовольтного та низьковольтного електрообладнання; Оптимізація
освітлювальних систем; Висновки.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Спеціальний розділ</i>			

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	5.05.25	
2	<i>Загальна характеристика технологічного процесу</i>	9.05.25	
3	<i>Розрахунок електричних навантажень цехових електроприймачів</i>	11.05.25	
4	<i>Побудова графіків електричних навантажень цеху</i>	14.05.25	
5	<i>Вибір напруги і електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання</i>	16.05.25	
6	<i>Режими реактивної потужності системи електропостачання;</i>	19.05.25	
7	<i>Вибір кількості, потужності трансформаторів та місця розташування цехових трансформаторних підстанцій (ТП)</i>	22.05.25	
8	<i>Вибір схеми та розрахунок цехової мережі</i>	25.05.25	
9	<i>Розрахунок струмів коротких замикань і вибір високовольтного та низьковольтного електрообладнання</i>	27.05.25	
10	<i>Оптимізація освітлювальних систем</i>	30.05.25	
11	<i>Оформлення пояснювальної записки ВКР</i>	01.06.25	
12	<i>Оформлення презентаційної частини ВКР</i>	02.06.25	

Дата видачі завдання
Підпис керівника _____

« ____ » _____ 2025р.

Завдання прийнято до виконання
Підпис здобувача _____

« ____ » _____ 2025 р.

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 114 с.; 28 рис.; 28 табл.; 11 джерел

Балануца Н.С. Розробка системи електропостачання металообробного цеху ПАТ “НВП “Радій” з оптимізацією освітлювальних систем – Рукопис.

Кваліфікаційна робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2025 рік.

Бакалаврська кваліфікаційна робота присвячена проектуванню системи електропостачання металообробного цеху ПАТ “НВП “Радій” з урахуванням оптимізації освітлювальних систем. У роботі проведено техніко-економічний аналіз виробничого об'єкта, визначено категорії електроприймачів за надійністю електропостачання та виконано розрахунок загального електричного навантаження цеху. На основі отриманих даних розроблено принципову схему електропостачання із зазначенням основного обладнання, його характеристик та способів захисту.

Особливу увагу приділено вдосконаленню системи освітлення, зокрема впровадженню світлодіодних світильників, автоматизованого керування освітленням. Запропоновані технічні рішення дозволяють значно знизити споживання електроенергії, зменшити навантаження на електромережу та покращити умови праці персоналу. Проведено порівняльний аналіз традиційних та енергоефективних систем освітлення, що підтверджує доцільність впроваджених заходів.

Ключові слова: цехові електричні навантаження, електроспоживачі, реактивна потужність, електричне обладнання, освітлення, світлодіодні пристрої.

ABSTRACT

Qualification work: 114 p.; 28 fig.; 28 tab.; 11 sources

Balanutsa N.S. Development of a power supply system for the metalworking shop of PJSC “NVP “Radii” with optimization of lighting systems – Manuscript.

Qualification work in the specialty 141 “Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics”, OPP “Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics”. – Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2025.

Bachelor qualification work is devoted to the design of a power supply system for the metalworking shop of PJSC “NVP “Radii” taking into account the optimization of lighting systems. The work carried out a technical and economic analysis of the production facility, determined the categories of electrical receivers according to the reliability of power supply and calculated the total electrical load of the shop. Based on the data obtained, a schematic diagram of the power supply was developed, indicating the main equipment, its characteristics and protection methods.

Particular attention was paid to improving the lighting system, in particular, the introduction of LED lamps, automated lighting control. The proposed technical solutions allow significantly reducing electricity consumption, reducing the load on the power grid and improving the working conditions of personnel. A comparative analysis of traditional and energy-efficient lighting systems was conducted, which confirms the feasibility of the implemented measures.

Keywords: shop electrical loads, electrical consumers, reactive power, electrical equipment, lighting, LED devices.

ЗМІСТ

	ВСТУП . ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	8
1	РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЦЕХОВИХ ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІВ	11
1.1.	Розрахунок силових електричних навантажень в цехових мережах до 1000 В	11
1.2.	Розрахунок освітлювальних навантажень цеху	15
1.3.	Розрахунок електричних навантажень в силових цехових мережах вище 1000 В	17
2	ПОБУДОВА ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЦЕХУ	20
3	ВИБІР НАПРУГИ І ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	27
3.1.	Вибір параметрів зовнішнього електрозабезпечення	28
3.2.	Вибір внутрішньої мережі цеху	28
4	РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	30
4.1.	Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв в цехових електричних мережах	31
4.2.	Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв	37
5	ВИБІР КІЛЬКОСТІ, ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ТА МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ЦЕХОВИХ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ (ТП)	41

						КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА		
Зм.	Арк.		Підпис	Дата				
Розроб	Балануца Н				Розробка системи електропостачання металообробного цеху ПАТ "НВП "Радій" з оптимізацією освітлювальних систем.	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Плешков П.Г							
Н.контр.						<i>ЦНТУ, зр.ЕЕ-21ПЗ</i>		
Затв.								

6	ВИБІР СХЕМИ ТА РОЗРАХУНОК ЦЕХОВОЇ МЕРЕЖІ	44
6.1.	Розрахунок силової мережі цеху.	44
6.2.	Розрахунок освітлювальної мережі цеху.	54
6.3.	Техніко-економічне порівняння варіантів.	59
7	РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ І ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ТА НИЗЬКОВОЛЬТНОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ	62
7.1	Розрахунок струмів короткого замикання	62
8	ОПТИМІЗАЦІЯ ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ	68
8.1.	Вимоги до системи освітлення	68
8.2.	Рішення для зменшення енергоспоживання під час розробки систем освітлення на промислових об'єктах	70
8.3.	Реалізація методу заміни джерела світла.	74
	ВИСНОВКИ	94
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	96
	ДОДАТОК А	98
	ДОДАТОК Б	114

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП . ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Система електропостачання (СЕП) — це комплекс технічних засобів, які забезпечують генерацію, транспортування та розподіл електричної енергії. Вона проєктується для задоволення енергетичних потреб промислових споживачів, серед яких — електродвигуни різноманітного обладнання, термічні установки, електролізні комплекси, пристрої для зварювання, системи освітлення і інші електроприймачі.

Необхідність створення ефективних систем енергозабезпечення виникла разом з поширенням електроприводів у виробничих процесах і розвитком енергетичної інфраструктури. Сьогодні основним джерелом живлення є централізована енергосистема. Водночас на окремих підприємствах й досі зводяться власні теплоелектроцентралі (ТЕЦ), що обумовлено кількома чинниками:

- потреба в тепловій енергії для виробничих процесів та опалення;
- забезпечення незалежного резервного живлення для критично важливих ділянок;
- можливість використання відновлюваних чи вторинних енергоресурсів;
- значна віддаленість від централізованої енергосистеми.

Із зростанням споживання електричної енергії структури систем енергозабезпечення промисловості стають складнішими: включаються високовольтні лінії, розподільчі пристрої і інші елементи.

Темою кваліфікаційної роботи є розробка системи електропостачання металообробного цеху ПАТ НВП «Радій», у тому числі з оптимізацією освітлювального обладнання.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

На основі зібраних даних виконується розрахунок електричних навантажень цеху із застосуванням відповідних коефіцієнтів, визначається активна, реактивна і повна потужність. Далі обирається оптимальна схема електропостачання, визначається кількість та тип трансформаторів, виконується побудова однолінійної схеми.

Наступний етап — розрахунок струмів короткого замикання у характерних точках мережі, вибір апаратів захисту та перевірка їх відповідності розрахунковим струмам. Також здійснюється підбір електротехнічного обладнання: кабельних ліній, розподільчих пристроїв, трансформаторів, з урахуванням допустимих струмів, падіння напруги та втрат потужності.

Металообробний цех є одним із підрозділів ПАТ «НВП «Радій». Його простір умовно розділено на декілька функціональних зон, у тому числі для металообробки, зварювання, а також штампувально-пресових операцій, які взаємопов'язані за технологічним призначенням.

Устаткування, що використовується у виробництві, включає як універсальні, так і спеціалізовані верстати, розташовані відповідно до логіки технологічного процесу. Сам цех знаходиться в будівлі з цегли, що об'єднує два виробничі приміщення. У ньому встановлені різні типи пресів, які дозволяють виконувати широкий спектр штамповочних операцій. Металообробне обладнання забезпечує можливість токарної обробки заготовок з різними параметрами довжини та діаметра.

Фрезерні верстати виконують обробку деталей із забезпеченням точності на рівні сьомого квалітету, а свердлильне устаткування дозволяє формувати отвори діаметром до 50 мм. Зварювальна зона оснащена точковими машинами та напівавтоматами для зварювання.

Основними одиницями пресового обладнання є кривошипні преси. Додаткові операції над деталями проводяться на допоміжних механізмах.

Енергопостачання ковальсько-пресової ділянки здійснюється від комірок розподільчого пункту КРП-10 кВ ГЗП за допомогою двох підземних

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

кабельних ліній напругою 10 кВ. За класифікацією надійності згідно з вимогами ПУЕ, до споживачів другої категорії відноситься 37,4% обладнання цеху, решта споживачів належать до третьої.

Контроль споживання електроенергії здійснюється через фідери, до яких приєднані кабелі 10 кВ. Для цього встановлені лічильники, що обліковують як активну, так і реактивну енергію (як споживання, так і генерацію). Інші ділянки цеху також обладнані пристроями обліку електроенергії.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЦЕХОВИХ ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІВ

Проектування системи електропостачання є одним з ключових етапів у забезпеченні надійної та ефективної роботи будь-якого промислового об'єкта, зокрема цеху. Основою цього процесу виступає визначення електричних навантажень, що дозволяє обґрунтувати вибір елементів електричної мережі, забезпечити енергетичну ефективність, надійність та безпеку експлуатації електроустановок.

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

У даному підрозділі розглядається методика розрахунку силових електричних навантажень електричних мереж напругою до 1000 В, яка застосовується для проектування електропостачання цеху. Розрахунок виконується з урахуванням специфіки технологічного обладнання, режимів його роботи, а також характеру електроприймачів (одиначні, групові, трифазні або однофазні). Визначення навантажень дозволяє правильно підібрати силові кабельні лінії, захисну апаратуру, трансформатори та інше електротехнічне обладнання.

Особливу увагу приділено аналізу графіків навантаження, коефіцієнтів попиту, використання та одночасності, що мають суттєвий вплив на точність розрахунків. Отримані результати є базою для подальшого техніко-економічного обґрунтування рішень щодо електропостачання, а також основою для розробки схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання цеху.

Розрахунок виконано за методикою впорядкованих діаграм, викладеній в [2] та представлено в табл. 1.1.

						Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 – Визначення електричних навантажень цехової мережі до 1000 В.

№	Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів	Кількість ел. споживачів	Встановлена потужність, кВт		Кв	cos tg	Середнє навантаження за зміну, кВт		Км	Розрахункова потужність, кВт					
			Одного	Сумарна			Рср	Qср		Pr	Qp	Sp			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	<u>ШРА-1</u>														
	Вертикально-фрезерний	5	7,5 - 8	37,5	0,12	0,8	0,8	0,8	4,50	3,38					
	Вертикально-сверлильний	8	2,8 - 5	29,2	0,12	1	0,3	0,3	3,50	1,15					
	Вертикально-фрезерний з ПУ	2	7,5 - 8	15	0,13	0,7	1,2	1,2	1,95	2,28					
	Вертикально-нарізний	1	4,5 - 5	4,5	0,12	0,8	0,8	0,8	0,54	0,41					
	Агрегатний станок	2	16,3 - 16	32,6	0,12	0,5	2,0	2,0	3,91	7,76					
	Токарно-гвинторізний	2	11,0 - 11	22	0,16	0,7	1,2	1,2	3,52	4,12					
	Різьбонарізний ст.	1	9,9 - 10	9,93	0,12	0,9	0,5	0,5	1,19	0,64					
	Разом	21	2,8 - 16	150,7	0,13	0,5	1,0	1,0	19,12	19,73	18	1,76	33,67	19,73	39,03
	<u>ШРА-2</u>														
	Горизонтально-протяжний	1	37,8 - 38	40	0,17	0,8	0,8	0,8	6,80	5,46					
	Настільно-сверлильний	4	0,6 - 1	2,4	0,17	0,8	0,8	0,8	0,41	0,31					
	Вертикально-фрезерний	5	7,5 - 8	37,5	0,3	0,9	0,6	0,6	11,25	6,97					
	Вертикально- фрезерний з Ч	3	7,5 - 8	40	0,17	0,9	0,6	0,6	6,80	4,21					

Продовження таблиці 1.1

	Вертикально-різбонарізний	2	10,0 - 10	20		0,65	0,8	0,8	0,8	13,00	9,75						
	Вертикально-свердильний	6	2,8 - 5	20,8		0,3	0,9	0,6	0,6	6,24	3,87						
	Агрегатний станок	2	9,9 - 16	26,2		0,12	0,5	2,0	2,0	3,14	6,24						
	Зварювальни полуавтомат	1	1,5 - 2	40		0,35	0,5	2,0	2,0	14,00	27,78						
	Зварювальний випрямляч	1	40,0 - 40	40		0,65	0,9	0,5	0,5	26,00	12,59						
	Токарно-гвинтонарізний	16	11,0 - 11	176		0,7	1	0,3	0,3	123,20	40,49						
	Разом	41	0,6 - 40	442,9	67	0,48	0,7	0,6	0,6	210,84	117,67	22	1,25	263,05	117,67	288,17	
	ШРА-3																
	Вертикально-свердильний	3	2,8 - 5	11,8		0,14	0,9	0,5	0,5	1,65	0,75						
	Вертикально-фрезерний	5	7,5 - 8	37,5		0,14	0,8	0,7	0,7	5,25	3,80						
	Плоскошліфувальний	1	14,0 - 14	14,0		0,1	0,8	0,8	0,8	1,40	1,05						
	Токарно-гвинтонарізний	7	10,0 - 10	70,0		0,12	0,8	0,8	0,8	8,40	6,30						
	Токарно-гвинтонарізний	16	11,0 - 11	176,0		0,25	0,8	0,9	0,9	44,00	38,80						
	Різбонакатний	2	4,5 - 5	9,0		0,25	0,8	0,9	0,9	2,25	1,98						
	Шліцфрезерний автомат	1	7,5 - 8	7,5		0,13	0,9	0,6	0,6	0,98	0,60						
	Алмазно-розточний	2	9,9 - 10	19,8		0,12	0,8	0,9	0,9	2,38	2,10						
	Горизонтально-протяжний	3	7,5 - 14	32,0		0,13	0,9	0,6	0,6	4,16	2,58						
	Горизонтально-фрезерний	4	8,7 - 9	34,8		0,12	0,8	0,8	0,8	4,18	3,13						
	Внутрішньошліфувальний	1	2,8 - 3	2,8		0,14	0,8	0,8	0,8	0,39	0,29						

1.2. Розрахунок освітлювальних навантажень цеху

Освітлення виробничих приміщень є важливою складовою забезпечення безпечних і комфортних умов праці, а також підвищення продуктивності працівників. У системі електропостачання цеху освітлювальні навантаження займають суттєву частку загального електричного споживання, тому їх точний розрахунок є необхідним для правильного проектування внутрішніх електричних мереж.

У цьому підрозділі розглядається методика визначення електричних навантажень, пов'язаних з системами штучного освітлення. Зокрема, враховуються типи приміщень, норми освітленості відповідно до чинних стандартів, характеристики світильників, способи їх розміщення та режим роботи. Окрему увагу приділено розрахунку потужності освітлювальної установки та коригуванню результатів з урахуванням коефіцієнтів використання та нерівномірності освітлення.

Результати розрахунків дозволяють визначити необхідну кількість світильників, їх розміщення, а також здійснити вибір кабельних ліній, захисних пристроїв і елементів керування освітленням. Це сприяє не лише ефективному енергоспоживанню, а й відповідності проекту санітарним, технічним і енергетичним вимогам.

Для забезпечення нормативного рівня освітлення у виробничому приміщенні цеху виконується відповідний розрахунок кількості світильників, їх розміщення та потужності освітлювальної мережі.

1. Вихідні дані:

- Довжина цеху: $A = 112$ м
- Ширина цеху: $B = 50$ м
- Висота приміщення: $H_{ц} = 7$ м
- Висота робочої поверхні: $h_{р} = 0,8$ м
- Висота підвісу світильника: $h_{с} = 0,7$ м

						Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо висоту підвісу над робочою поверхнею:

$$h = H_{ц} - h_p - h_c = 7 - 0,8 - 0,7 = 5,5 \text{ м}$$

1. Вибір типу світильника

Використовуються промислові світильники типу РСІ 05/ГОЗ з лампами ДРЛ. Для даного типу світильника відношення між міжосьовою відстанню та висотою підвісу:

$$l_e = l_a/h = 1 \rightarrow l_a = 5,5 \cdot 1 = 5,5 \text{ м}$$

Таким чином, уздовж ряду можливо встановити:

$$112 - 2l/5,5 \approx 20 \text{ світильників}$$

За шириною розміщуємо 9 рядів, міжрядна відстань також становить 5,5 м.

Загальна кількість світильників:

$$20 \times 9 = 180 \text{ шт.}$$

3. Оптичні характеристики приміщення

Коефіцієнти відбиття поверхонь згідно з табл. 5.1 [4]:

$$\text{стеля } \rho_{п} = 70\%$$

$$\text{стіни } \rho_{ст} = 50\%$$

$$\text{полу } \rho_{пл} = 10\%$$

4. Знаходимо індекс приміщення:

$$i = \frac{A \cdot B}{h(A + B)} = \frac{112 \cdot 50}{5,5(112 + 50)} = 6,17$$

за табл. 5.9 [4] знаходимо коефіцієнт використання світлового потоку:

$$\eta = 0,85.$$

5. Нормативи освітлення

- Нормований рівень освітленості: $E_n = 300 \text{ лк}$
- Коефіцієнт запасу: $K_{зап} = 1,5$ згідно з табл. 4.1, 4.4 [4]
- Площа приміщення: $F = A \cdot B = 112 \times 50 = 5600 \text{ м}^2$

Загальний світловий потік, що має надходити у приміщення:

$$\Phi_p = \frac{E_n \cdot K_{зап} \cdot F \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 112 \cdot 50 \cdot 1,15}{180 \cdot 0,85} = 18941,17$$

						Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

основних складових проектування системи електропостачання є розрахунок електричних навантажень у мережах з напругою вище 1000 В, який визначає параметри енергосистеми на рівні підстанцій, живильних ліній і трансформаторів.

У цьому підрозділі розглядаються принципи та етапи визначення потужностей, які необхідно передавати через високовольтну частину системи, включаючи врахування режимів роботи обладнання, характеристик електроприймачів, а також коефіцієнтів попиту, одночасності та використання. Точність таких розрахунків є критично важливою для вибору оптимальної схеми живлення, типу та кількості трансформаторів, а також для забезпечення відповідності технічним нормам та енергетичним стандартам.

Результати даного розрахунку лягають в основу проектних рішень щодо побудови мереж напругою 6–10 кВ, вибору силових кабелів, комутаційної апаратури та розробки релейного захисту. Це забезпечує не лише ефективну передачу електроенергії, а й стійкість роботи електроприймачів до коливань напруги та аварійних режимів.

Результати виконаного розрахунку навантажень у силовій мережі з напругою понад 1000 В систематизовано та подано у таблиці 1.3.

						Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.3 – Визначення електричних навантажень цехової мережі віще 1000 В.

№	Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів	Кількість ел. споживачів	Встановлена потужність, кВт		m	Kv	cos φ	tg φ	Середнє навантаження за зміну, кВт			Км	Розрахункова потужність, кВт		
			Одного	Сумарна					Рср	Qср	Рр		Qр	Sp	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Металообробний цех														
	ТП1,2														
1	<u>ЩРА-1</u> силова	21,0	2,8 - 16,3	150,7	6,00	0,13	0,47	1,03	19,12	19,73	18,00	1,76	33,67	19,73	39,03
	<u>ЩРА-2</u> силова	41,0	0,6 - 40,0	442,9	67,00	0,48	0,70	0,56	210,84	117,67	22,00	1,25	263,05	117,67	288,17
	<u>ЩРА-3</u> силова	55,0	2,8 - 38,2	490,9	14,00	0,18	0,61	0,80	86,90	69,28	26,00	1,50	130,55	69,28	147,79
	<u>ЩРА-4</u> силова	47,0	1,4 - 70,0	882,0	49,00	0,26	0,18	1,39	225,00	312,89	25,00	1,40	315,30	312,89	444,20
	Всього по ТП1,2														
	освітлювальна	164,0	0,6 - 70,0	1966,6	117,00	0,28	0,52	0,96	541,87	519,58	56,00	1,24	672,08	519,58	849,50
	Всього												47,03	22,57	
	Втрати в трансформаторі S= 1000	1,0											719,11	542,15	900,58
	БСК												8,09	39,43	
	З урахуванням БСК												727,20	581,58	931,16
													719,11	-550,00	
													727,20	31,58	727,89

2 ПОБУДОВА ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЦЕХУ

Раціональне проектування системи електропостачання виробничого підприємства неможливе без аналізу характеру споживання електроенергії в часі. Побудова графіків електричних навантажень дозволяє наочно відобразити динаміку змін споживання потужності впродовж робочої доби, зміни по змінах, а також у різні періоди виробничого циклу.

У цьому розділі розглядаються принципи формування добових графіків навантажень основного та допоміжного обладнання, освітлення, а також інших електроприймачів, що функціонують у межах цеху. Аналіз графіків дає змогу визначити найбільш навантажені інтервали доби, оцінити пікові та середньодобові значення активної й реактивної потужності, а також визначити коефіцієнт завантаження електричних мереж.

Отримані графіки використовуються для уточнення розрахункових навантажень, вибору перерізів живильних ліній, а також для техніко-економічної оцінки ефективності споживання електроенергії. Це дозволяє прийняти обґрунтовані рішення щодо оптимізації роботи енергосистеми цеху, зменшення втрат електроенергії та підвищення енергоефективності підприємства в цілому.

Обсяг активної та реактивної електроенергії, втраченої протягом року, визначається за такими формулами, кВт, кВар:

$$W_{\text{річ}} = \sum P_i t_i; \quad (2.1)$$

$$V_{\text{річ}} = \sum Q_i t_i, \quad (2.2)$$

де P_i, Q_i – значення потужності для відповідної ділянки графіка,
 t_i – тривалість цієї ділянки в годинах.

Далі в розрахунках не передбачається використання засобів компенсації. Обсяг спожитої за рік активної та реактивної електроенергії у проектних умовах визначається за такими формулами:

					Арк.
					20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

$$W_{\Gamma}^p = \sum_{i=1}^n P_i T_i \quad Q_{\Gamma}^p = \sum_{i=1}^n Q_i t_i$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{679,8^2 + 503,2^2} = 846 \text{ кВА}$$

$$W_{\text{річ}}^p = W_{\text{річ}}^p + W_{\text{річ}}^B = (1620522 + 911364,0585) + (322520,835 + 202443,8472) = 3056850,3 \text{ кВт}\cdot\text{год};$$

$$V_{\text{річ}}^p = V_{\text{річ}}^p + V_{\text{річ}}^B = (1213990,092 + 737065,413) + (162551,61 + 102032,3952) = 2215639,5 \text{ кВар}\cdot\text{год}.$$

Максимальне навантаження використовувалося протягом, год:

$$T_{\max} = \frac{\sqrt{W_{\Gamma}^2 + V_{\Gamma}^2}}{S_p} = \frac{\sqrt{3056850,3^2 + 2215639,5^2}}{931,16} = 4054,5 \text{ год}$$

Період, коли спостерігались найбільші втрати електроенергії, год:

$$\tau_{\text{нб}} = \left(0,124 + \frac{T}{10^4}\right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{4054,5}{10^4}\right)^2 = 2455,6 \text{ год}$$

Для формування добових та річного графіків споживання електроенергії було застосовано програму «Графік.xls», створену в середовищі MS Excel. Нижче подано результати проведених розрахунків.

Робочі дні:

Річна витрата активної електричної енергії, кВт*год:

W_Г= 1620522

Зимові

Річна витрата реактивної електричної енергії, кВт*год:

V_Г= 1213990,092

Річна витрата активної електричної енергії, кВт*год:

W_Г= 911364,0585

Літні

Річна витрата реактивної електричної енергії, кВт*год:

V_Г= 737065,413

Вихідні дні:

Річна витрата активної електричної енергії, кВт*год:

W_Г= 322520,835

Зимові

Річна витрата реактивної електричної енергії, кВт*год:

V_Г= 162551,61

Річна витрата активної електричної енергії, кВт*год:

W_Г= 202443,8472

Літні

Річна витрата реактивної електричної енергії, кВт*год:

V_Г= 102032,3952

					Арк.
					21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Час використання максимального навантаження, год:

$$T_m = 4054,5$$

Час максимальних втрат, год:

$$\tau_m = 2455,6$$

$$W_{\Gamma} = 3056850,3$$

$$V_{\Gamma} = 2215639,5$$

Таблиця 2.1. Активне навантаження цеху за добу

Години	Робочий період		Вихідний період	
	Зима	Літо	Зима	Літо
1	215,7	183,4	251,7	213,9
2	251,7	183,4	251,7	213,9
3	215,7	183,4	251,7	213,9
4	215,7	183,4	251,7	213,9
5	215,7	183,4	251,7	213,9
6	251,7	183,4	251,7	213,9
7	323,6	220,0	251,7	213,9
8	431,5	342,3	143,8	122,2
9	647,2	550,1	143,8	122,2
10	719,1	611,2	143,8	122,2
11	683,2	611,2	143,8	122,2
12	575,3	464,5	143,8	122,2
13	611,2	489,0	143,8	122,2
14	647,2	550,1	143,8	122,2
15	647,2	464,5	143,8	122,2
16	611,2	464,5	143,8	122,2
19	611,2	427,9	143,8	122,2
18	575,3	427,9	251,7	213,9
19	539,3	366,7	251,7	213,9
20	467,4	427,9	251,7	213,9
21	489,0	427,9	251,7	213,9
22	467,4	305,6	251,7	213,9
23	323,6	244,5	251,7	213,9
24	287,6	183,4	251,7	213,9
<i>Wi</i>	11023,9563	8679,6577	4961,859	4217,58015

Таблиця 2.2. Реактивне навантаження цеху за добу
без врахування КП

Години	Робочий період		Вихідний період	
	Зима	Літо	Зима	Літо
1	174,5	148,3	116,3	98,9
2	174,5	148,3	116,3	98,9
3	174,5	148,3	116,3	98,9
4	174,5	148,3	116,3	98,9
5	174,5	148,3	116,3	98,9
6	174,5	148,3	116,3	98,9
7	209,4	178,0	116,3	98,9
8	325,7	276,8	87,2	74,2
9	523,4	444,9	87,2	74,2
10	581,6	494,3	87,2	74,2
11	581,6	494,3	87,2	74,2
12	442,0	375,7	87,2	74,2
13	465,3	395,5	87,2	74,2
14	523,4	444,9	87,2	74,2
15	442,0	375,7	87,2	74,2
16	442,0	375,7	87,2	74,2
19	407,1	346,0	87,2	74,2
18	407,1	346,0	116,3	98,9
19	348,9	296,6	116,3	98,9
20	407,1	346,0	116,3	98,9
21	407,1	346,0	116,3	98,9
22	290,8	247,2	116,3	98,9
23	232,6	197,7	116,3	98,9
24	174,5	148,3	116,3	98,9
Wi	8258,436	7019,6706	2500,794	2125,6749

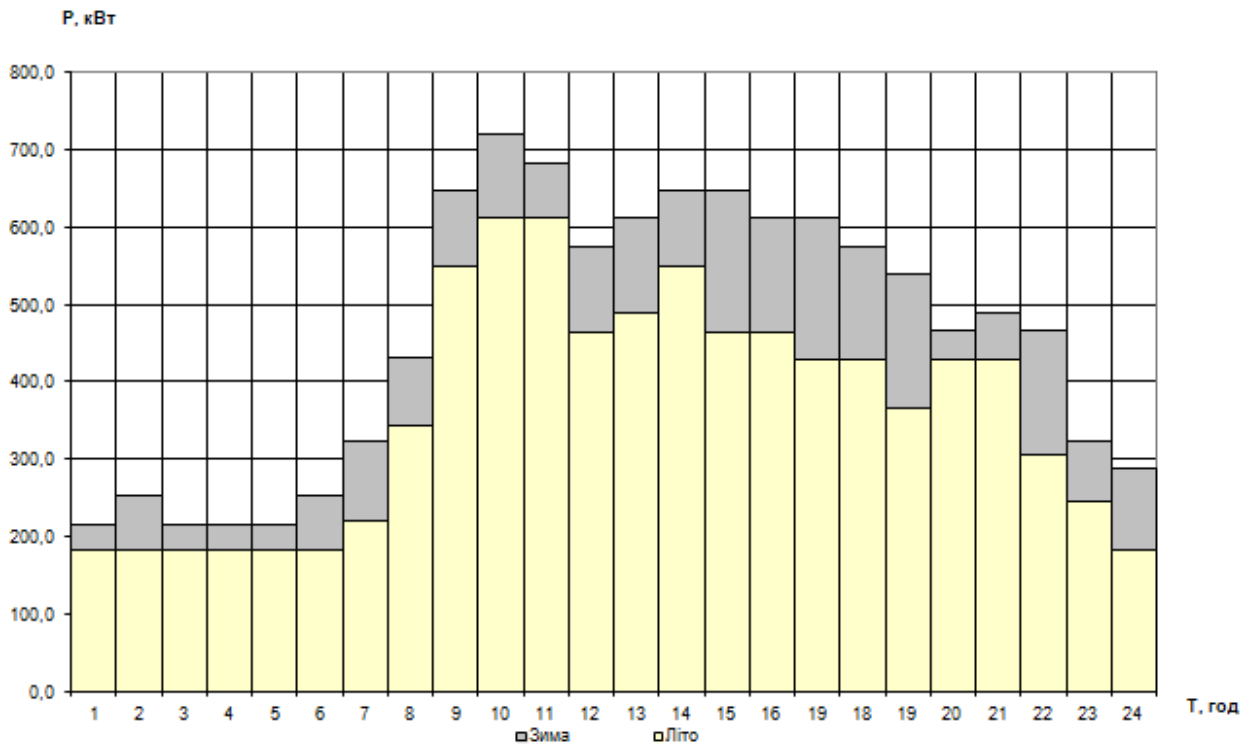


Рисунок 2.1- Споживання активної потужності в робочий день

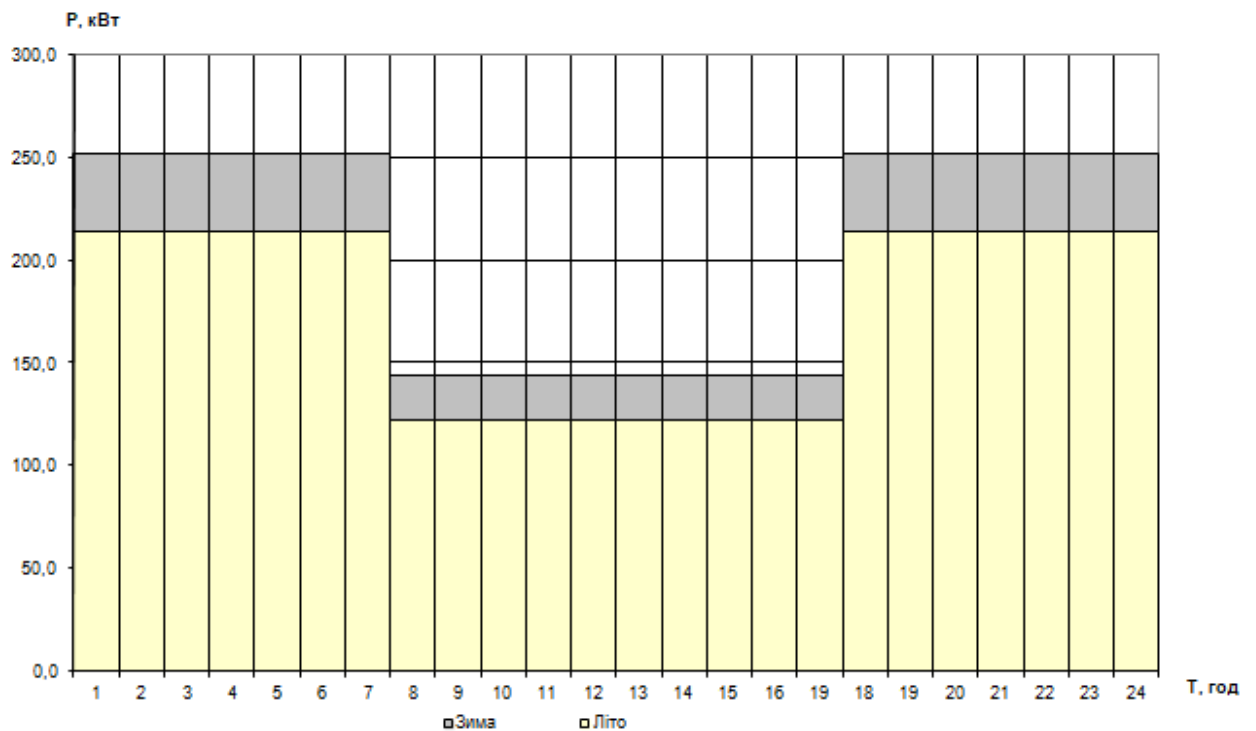


Рисунок 2.2 - Споживання активної потужності у вихідний день

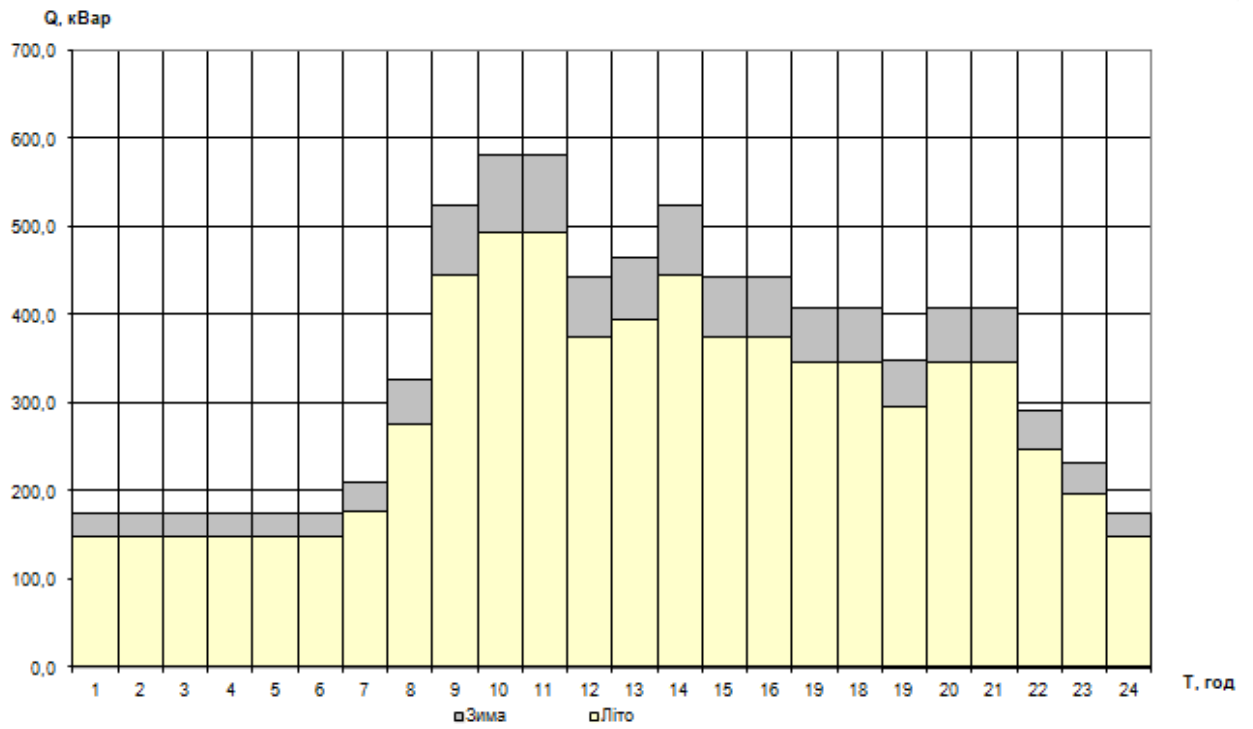


Рисунок 2.3- Споживання реактивної потужності в робочий день

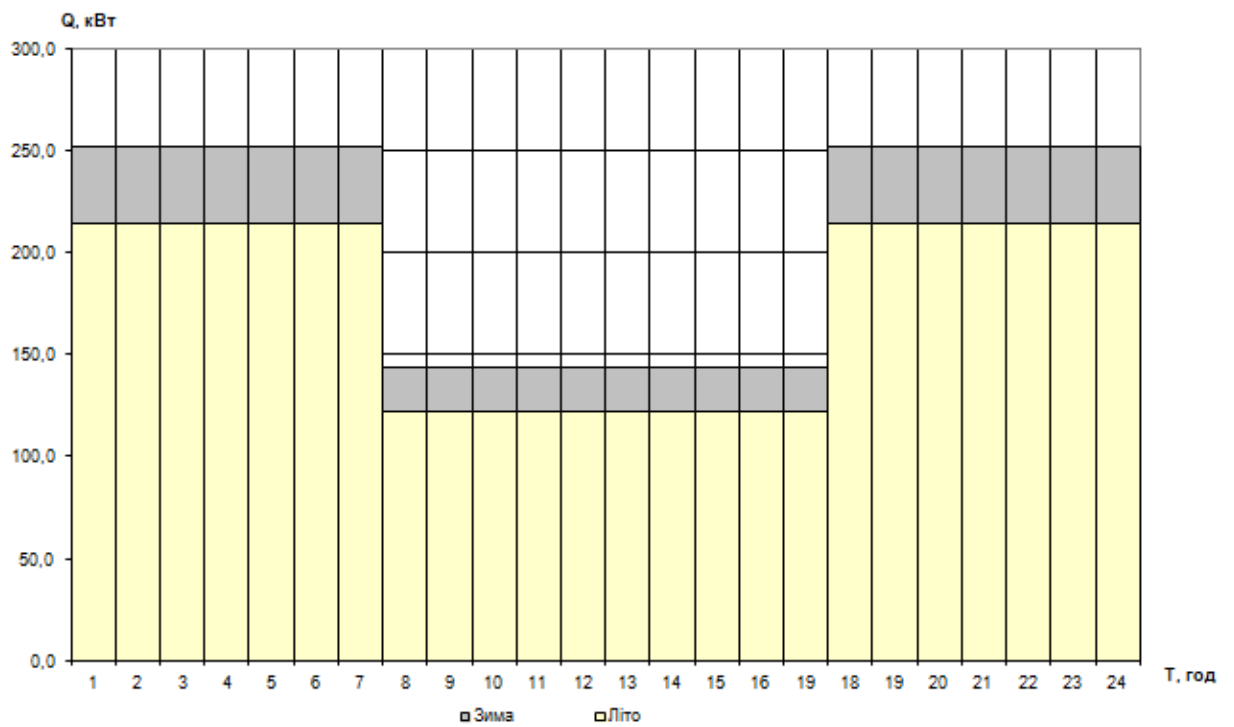


Рисунок 2.4 - Споживання реактивної потужності цеху у вихідний день

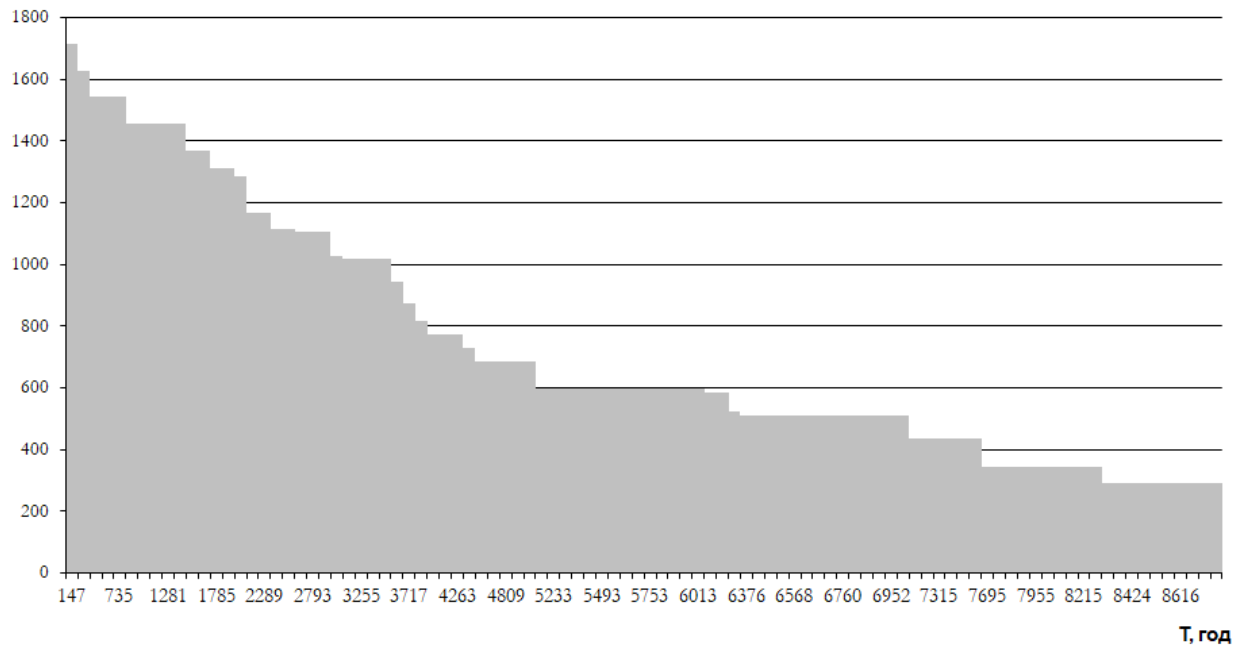


Рисунок 2.5 - Річний графік навантаження за тривалістю

						Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ВИБІР НАПРУГИ І ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Визначення рівнів напруги у живильних і розподільчих мережах залежить від обсягу споживаної потужності, відстані до джерела енергії, параметрів цього джерела, а також характеристик підключених електроприймачів. Зовнішні схеми електропостачання підбираються, виходячи з вимог до надійності й економічної доцільності. Ступінь надійності конкретної схеми встановлюється відповідно до класу важливості споживача.

Якщо серед електроспоживачів підприємства є хоча б один, який належить до першої категорії, то має бути щонайменше два незалежні джерела живлення. Під час розробки проекту електрозабезпечення кількість допустимих варіантів зазвичай не перевищує 2–3, що визначається напругою у найближчих точках можливого підключення до енергосистеми.

Найраціональніша схема обирається шляхом порівняння зведених витрат для кожного варіанта. Основним критерієм при виборі конфігурації електропостачання для підприємства чи його окремих підрозділів, а також для визначення напруги, потужності трансформаторів, типу й перерізу кабелів, схеми розміщення компенсуючих пристроїв тощо, є мінімізація сумарних витрат.

Формула для визначення зведених витрат в енергетиці виглядає так:

$$P_{\text{в}} = C + E_{\text{н}} \cdot K + B + Z \rightarrow \min$$

де C – щорічні експлуатаційні витрати на транспортування електроенергії, тис. грн.;

$E_{\text{н}} = 0,12$ – норматив ефективності інвестицій;

K – загальні інвестиційні витрати на реалізацію схеми, грн.;

B – грошовий еквівалент втрат електроенергії, грн.;

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

З – втрати, пов'язані з можливими перебоями живлення, обумовленими рівнем надійності, грн./рік.

Серед доступних варіантів кращим буде той, який дозволяє знизити сукупні витрати. У розрахунках враховують лише ті складові схеми, які відрізняються між порівнюваними варіантами. Загальна сума інвестицій визначається на підставі укрупнених розцінок усіх компонентів мережі.

3.1. Вибір параметрів зовнішнього електрозабезпечення

Живлення виробничого підрозділу передбачено від головної підстанції підприємства, що розміщена за 0,156 км. Прокладання лінії планується кабелем на 10 кВ. Через наявність лише одного трансформатора передбачається однолінійна (радіальна) подача живлення, тому порівняння альтернативних варіантів не проводиться.

3.2. Вибір внутрішньої мережі цеху

Внутрішня система електропостачання ділиться на силову та освітлювальну частини. Кожна з них, у свою чергу, містить живильні та розподільчі ділянки. Живильні — це сегменти мережі від трансформаторної підстанції до розподільчих пунктів. Розподільча мережа — це траси, до яких безпосередньо підключаються електроспоживачі.

Для цехових мереж можливе використання радіальних, магістральних або комбінованих схем. Радіальні варіанти застосовують для забезпечення енергією окремих одиниць обладнання (наприклад, електropечей, потужних двигунів), а також у цехах з обмеженим навантаженням.

Магістральні схеми характеризуються простою реалізацією, вигідною економікою та зручністю при рівномірному розміщенні навантаження по площі. Передача електроенергії у такому випадку реалізується через шинопроводи типу ШРА на 630 А. Такі рішення надають високий рівень

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

гнучкості для зміни розташування обладнання та сприяють стабільному енергозабезпеченню.

У даному випадку навантаження в цеху розташовані рівномірно, тому передбачено застосування магістральної схеми з використанням шинопроводів серії ШРА, які через автоматичний вимикач підключаються до магістралі типу ШМА. Умови в приміщенні (стабільна температура, нормальна вологість, відсутність агресивного середовища) сприяють використанню даного типу обладнання. Деталізація внутрішньої мережі представлена в цьому розділі.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

4 РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

З метою зменшення втрат та покращення показників якості електроенергії застосовують компенсуючі пристрої, серед яких найпоширенішими є батареї конденсаторів (БК) та синхронні компенсатори. Оптимальний вибір типу і потужності компенсуючих пристроїв базується на аналізі балансу реактивної потужності, який враховує споживання та генерацію Q у відповідних вузлах мережі.

Передача реактивної енергії через електричні лінії та трансформатори є малоефективною, оскільки вона негативно впливає як на загальну ефективність енергосистеми, так і на якість електропостачання. Це пояснюється такими чинниками:

а) зростанням втрат активної енергії в обладнанні (лінії, трансформатори, генератори), що виникає через проходження струмів реактивної складової;

б) обмеженням технічної здатності елементів мережі до передачі потужності, включаючи трансформаторне обладнання;

в) появою додаткових спадів напруги в елементах мережі, що призводить до зниження рівня напруги на стороні споживачів.

У будь-якому робочому режимі електромережі обов'язково дотримується рівновага між виробництвом і споживанням реактивної потужності. Залежно від того, які саме джерела застосовуються, досягнення цього балансу може бути реалізоване різними способами.

Компенсація реактивної потужності в енергосистемі передбачає її поділ на три рівні управління:

I. — загальнодержавні або регіональні мережі електропередачі;

II. — високовольтні розподільчі мережі промислових підприємств;

III. — внутрішньоцехові електромережі низької напруги.

						Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На першому рівні оптимізація режимів роботи електромережі дає змогу визначити доцільну величину реактивної енергії, яку можна передавати підприємству в години пікового навантаження.

Другий рівень включає завдання щодо вибору способів компенсації у розподільчих мережах підприємств, з урахуванням ділянок, підключених до трансформаторних підстанцій на напрузі 0,4 кВ.

На третьому рівні розв'язуються питання ефективного розміщення джерел реактивної потужності в межах цехової мережі з напругою 0,4 кВ.

У цьому розділі розглянуто методику побудови балансу реактивної потужності для високовольтих та низьковольтих електричних мереж, а також підходи до вибору відповідних компенсуючих пристроїв залежно від режимів роботи системи та техніко-економічних умов.

4.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв в цехових електричних мережах

Розрахунок балансу реактивної енергії та підбір пристроїв компенсації в електромережах цеху проводимо згідно з рекомендаціями джерела [2].

Розглянемо приклад обчислень для цехової трансформаторної підстанції ТП-1 на основі таких початкових параметрів:

$$P_H = 719,11 \text{ кВт}$$

$$Q_H = 542,15 \text{ квар}$$

Сумарне електроспоживання цеху становить::

$$P_p = P_v + P_H + \Delta P_{тр} = 0 + 719,11 + 8,09 = 727,2 \text{ кВт}$$

$$Q_p = Q_v + Q_H + \Delta Q_{тр} = 0 + 542,15 + 39,43 = 581,58 \text{ квар}$$

Обсяг потужності, доцільний для отримання з енергосистеми з економічної точки зору::

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg}\phi_s = 727,2 \cdot 0,15 = 109,08 \text{ квар}$$

					Арк.
					31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Необхідна реактивна потужність, яку слід компенсувати згідно з балансом:

$$Q_{ку} = Q_p - Q_e = 581,58 - 109,08 = 472,5 \text{ квар}$$

Мінімальна кількість трансформаторів визначається за формулою:

$$N_0 = P_H / (K_z \cdot S_{H \text{ тр}}) = 719,11 / (0,7 \cdot 1000) = 1,027$$

Приймаємо кількість трансформаторів $N_0 = 1$

Розглянемо варіанти компенсації при кількості трансформаторів

$$N=N_0, N = N_0 +1, N = N_0+2$$

Варіант I: $N = N_0 = 1$

Розрахунок можливого передавання реактивної потужності з мережі 10 кВ у мережу 0,4 кВ через трансформатор:

$$Q_H = \sqrt{(n \cdot S_m \cdot K_s)^2 - P_H^2} = (1 \cdot 1000 \cdot 0,7)^2 - 719,11^2 = 0 \text{ кВар}$$

Обсяг реактивної потужності, яку потрібно компенсувати на стороні 0,4 кВ (відповідно до балансу на шинах ТП):

$$Q_{кн} = Q_H - Q_{п} = 542,15 - 0 = 542,15 \text{ квар}$$

Приймаємо до встановлення обладнання на суму: $Q_{кн} = 550$ квар, де:

— дві конденсаторні батареї потужністю 225 квар

— дві конденсаторні батареї по 50 квар

Уточнене значення реактивної потужності після встановлення:

$$Q_{п} = Q_H - Q_{кн} = 542,15 - 550 = -7,85 \text{ квар}$$

Потужність КП на шинах 10 кВ:

Потужність компенсуючих пристроїв для мережі 10 кВ:

$$Q_{кв} = Q_p - Q_{кн} - Q_e = 581,58 - 550 - 109,08 = 0 \text{ кВар}$$

Приймаємо до встановлення $Q_{кв} = 0$ кВар

Компенсаційні пристрої для 10 кВ не потрібні

					Арк.
					32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Втрати активної енергії при транспортуванні реактивної потужності через трансформатори:

$$\Delta P_{\text{ТП}} = Q^2_{\text{П}} \cdot R_{\text{ЕК}} / U^2_{\text{Н}} = (-7,85)^2 \cdot 1050 / 10 = 0,006 \text{ кВт}$$

де

$$R_{\text{ЕК}} = (\Delta P_{\text{КЗ}} \cdot U^2_{\text{Н}}) / (N_{\text{ТР}} \cdot S_{\text{НТР}}^2) = (10,5 \cdot 10^2 / (1 \cdot 1000)) = 1050 \cdot 10^{-6} \text{ кОм}$$

Трансформатор типу ТМ-1000-10/0,4 має такі характеристики:

Напруга короткого $U_{\text{к}}=5,5\%$

Втрати короткого замикання $\Delta P_{\text{КЗ}}=10,5 \text{ кВт}$

Холості втрати $\Delta P_{\text{Х}}=1,55 \text{ кВт}$

Втрати активної потужності в низьковольтних конденсаторних батареях:

$$\Delta P_{\text{КВ}} = \Delta P_{\text{ПИТ}} \cdot Q_{\text{КВ}} = 0,0045 \cdot 0 = 0 \text{ кВт}$$

де $\Delta P_{\text{ПИТ}} = 0,0045 \text{ кВт/квар}$ – питомі втрати в низьковольтному обладнанні БК.

Втрати потужності у високовольтних конденсаторах:

$$\Delta P_{\text{КН}} = \Delta P_{\text{ПИТ}} \cdot Q_{\text{КН}} = 0,003 \cdot 550 = 1,65 \text{ кВт}$$

де $\Delta P_{\text{ПИТ}} = 0,003 \text{ кВт/квар}$ – питомі втрати в високовольтних конденсаторах.

Орієнтовна вартість встановлення НВКБ (низьковольтних конденсаторних батарей):

$$K_{\text{КН}} = N_{\text{БК}}^{0,4i} \cdot K_{\text{ККУ}}^{0,4i} = 2 \cdot 35,3 + 2 \cdot 86,2 = 243 \text{ тис. грн.}$$

Орієнтовна вартість встановлення ВВКБ (високовольтних конденсаторних батарей):

$$K_{\text{КВ}} = N_{\text{БК}}^{1,0i} \cdot K_{\text{ККУ}}^{1,0i} = 0.$$

Ціна комплектних трансформаторних підстанцій:

$$K_{\text{КТП}} = N_{\text{ТП}(1)} \cdot K_{\text{ТП}(1)} + N_{\text{ТП}(2)} \cdot K_{\text{ТП}(2)} = 1 \cdot 155 = 155 \text{ тис. грн.}$$

де $N_{\text{ТП}(1)}$, $N_{\text{ТП}(2)}$ – кількість відповідно одно- та дво- трансформаторних

КТП; $K_{\text{ТП}(1)}$, $K_{\text{ТП}(2)}$ – їх вартість.

						Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальні витрати, пов'язані з компенсацією реактивної потужності:

$$Z_1 = E_n \cdot (K_{кн} + K_{кв} + K_{кп}) + (\Delta P_{кн} + \Delta P_{кв} + \Delta P_{тп}) \cdot C_0 \cdot \tau = 0,12 \cdot (243 + 0,00 + 155) + (1,65 + 0,00 + 0,006) \cdot 2,7 \cdot 2455,6 = 11027 \text{ грн.}$$

Варіант II: $N = N_0 + 1 = 2$

Розрахунок обсягу реактивної потужності, що передається з лінії 10 кВ у внутрішню мережу 0,4 кВ через два трансформатори:

$$Q_n = \sqrt{(n \cdot S_m \cdot K_s^2) - P_n^2} = (2 \cdot 1000 \cdot 0,7)^2 - 719,11^2 = 1201,2 \text{ кВар}$$

Потреба в компенсуванні реактивної енергії в мережі 0,4 кВ, відповідно до балансу на шинах підстанції:

$$Q_{кн} = Q_n - Q_{п} = 542,15 - 1197,8 = 0 \text{ квар}$$

Приймаємо для встановлення $Q_{кн} = 50$ квар, з них

1 БК потужністю 50 квар.

Уточнюємо величину:

$$Q_{п} = Q_n - Q_{кн} = 542,15 - 50 = 492,15 \text{ квар}$$

Розрахунок необхідного обсягу компенсації на стороні 10 кВ:

$$Q_{кв} = Q_r - Q_{кн} - Q_e = 581,58 - 50 - 109,08 = 422 \text{ кВар}$$

Обираємо для встановлення $Q_{кв} = 450$ кВар

2 БК потужністю 200 квар

Загальна компенсована потужність: $Q_{кв} = 400$ кВар

Втрати активної потужності при перенесенні реактивної енергії трансформаторами:

$$\Delta P_{тп} = Q_{п}^2 \cdot R_{ек} / U_n^2 = 492,15^2 \cdot 525 / 10^2 = 1,271 \text{ кВт}$$

$$\text{де } R_{ек} = (\Delta P_{кз} \cdot U_n^2) / (N_{тр} \cdot S_{нтр}^2) = (10,5 \cdot 10^2) / (2 \cdot 1000) = 525 \cdot 10^{-6} \text{ кОм}$$

Втрати в низьковольтних батареях конденсаторів:

$$\Delta P_{кв} = \Delta P_{пит} \cdot Q_{кв} = 0,0045 \cdot 400 = 1,8 \text{ кВт}$$

					Арк.
					34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

де $\Delta P_{\text{пит}} = 0,0045$ кВт/квар – питомі втрати потужності у НВБК.

Втрати потужності у високовольтних конденсаторах:

$$\Delta P_{\text{кн}} = \Delta P_{\text{пит}} \cdot Q_{\text{кн}} = 0,003 \cdot 50 = 0,15 \text{ кВт}$$

де $\Delta P_{\text{пит}} = 0,003$ кВт/квар – питомі втрати потужності в ВВКБ.

Оцінка витрат на низьковольтні батареї:

$$K_{\text{кн}} = N_{\text{бк}}^{0,4} \cdot K_{\text{кку}}^{0,4} = 2 \cdot 86,2 = 172,4 \text{ тис. грн.}$$

Вартість високовольтного обладнання:

$$K_{\text{кв}} = N_{\text{бк}}^{10} \cdot K_{\text{кку}}^{10} = 1 \cdot 35,3 = 35,3 \text{ тис. грн.}$$

Ціна трансформаторних підстанцій:

$$K_{\text{тп}} = N_{\text{тп}(1)} \cdot K_{\text{тп}(1)} + N_{\text{тп}(2)} \cdot K_{\text{тп}(2)} = 1 \cdot 70,5 + 1 \cdot 155 = 225,5 \text{ тис. грн.}$$

де $N_{\text{тп}(1)}$, $N_{\text{тп}(2)}$ – кількість одно- та дво- трансформаторних підстанцій;
 $K_{\text{тп}(1)}$, $K_{\text{тп}(2)}$ – відповідні вартості.

Загальні витрати, пов'язані з організацією компенсації реактивної енергії:

$$Z_2 = E_{\text{н}} \cdot (K_{\text{кн}} + K_{\text{кв}} + K_{\text{тп}}) + (\Delta P_{\text{кн}} + \Delta P_{\text{кв}} + \Delta P_{\text{тп}}) \cdot C_0 \cdot \tau = 0,12 \cdot (172,4 + 35,3 + 225,5) + (0,15 + 1,8 + 1,271) \cdot 2,7 \cdot 2455,6 = 21407,6 \text{ грн.}$$

Варіант III: $N = N_0 + 2 = 3$

Розрахунок реактивної потужності, що передається з мережі 10 кВ до 0,4 кВ через трансформатори:

$$Q_{\text{т}} = \sqrt{(n S_{\text{м}} \cdot K_{\text{т}})^2 - P_{\text{н}}^2} = (3 \cdot 1000 \cdot 0,7)^2 - 719,11^2 = 1973 \text{ кВар}$$

Обсяг реактивної потужності, що потребує компенсації в мережі 0,4 кВ:

$$Q_{\text{кн}} = Q_{\text{н}} - Q_{\text{т}} = 542,15 - 1971 = 0 \text{ квар}$$

БК у мережі 0,4 кВ не встановлюються.

Розрахунок компенсаційної потужності для мережі 10 кВ:

$$Q_{\text{кв}} = Q_{\text{р}} - Q_{\text{кн}} - Q_{\text{е}} = 581,58 - 0 - 109,923 = 471,65 \text{ кВар}$$

					Арк.
					35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Обираємо до встановлення: $Q_{кв} = 450$ кВар

1 БК потужністю 450 квар.

Сумарна компенсація: $Q_{кв} = 450$ кВар

Втрати активної потужності при передачі реактивного навантаження через трансформатори:

$$\Delta P_{тп} = Q^2_{п} \cdot R_{ек} / U^2_{н} = 581,58^2 \cdot 350 / 10^2 = 1183 \text{ кВт}$$

$$\text{де } R_{ек} = (\Delta P_{кз} \cdot U^2_{н}) / (N_{тр} \cdot S_{нтр}^2) = (10,5 \cdot 10^2) / (3 \cdot 1000) = 350 \cdot 10^{-6} \text{ кОм}$$

Втрати в низьковольтних конденсаторних установках:

$$\Delta P_{кв} = \Delta P_{пит} \cdot Q_{кв} = 0,0045 \cdot 450 = 2,03 \text{ кВт}$$

де $\Delta P_{пит} = 0,0045$ кВт/квар – питомі втрати в низьковольтних конденсаторах.

Втрати у високовольтних БК:

$$\Delta P_{кн} = \Delta P_{пит} \cdot Q_{кн} = 0,003 \cdot 0 = 0 \text{ кВт}$$

де $\Delta P_{пит} = 0,003$ кВт/квар – питомі втрати в високовольтних конденсаторах.

Вартість обладнання:

– Низьковольтні БК:

$$K_{кн} = N_{бк}^{0,4i} \cdot K_{кку}^{0,4i} = 0.$$

– Високовольтні БК:

$$K_{кв} = N_{бк}^{10i} \cdot K_{кку}^{10i} = 1 \cdot 210 = 210 \text{ тис. грн}$$

Комплектні трансформаторні підстанції:

$$K_{тп} = N_{тп(1)} \cdot K_{тп(1)} + N_{тп(2)} \cdot K_{тп(2)} = 2 \cdot 180 + 1 \cdot 155 = 515 \text{ тис. грн.}$$

де $N_{тп(1)}$, $N_{тп(2)}$ – кількість одно- та дво- трансформаторних підстанцій;
 $K_{тп(1)}$, $K_{тп(2)}$ – їх вартість.

Загальні витрати на компенсацію реактивної енергії:

$$Z_3 = E_n \cdot (K_{кн} + K_{кв} + K_{тп}) + (\Delta P_{кн} + \Delta P_{кв} + \Delta P_{тп}) \cdot C_0 \cdot \tau = 0,12 \cdot (0 + 210 + 515) + (0 + 2,03 + 118,3) \cdot 2,7 \cdot 2455,6 = 797889 \text{ грн.}$$

					Арк.
					36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Таблиця 4.1. Баланс реактивної потужності.

Показники	Варіант I	Варіант II	Варіант III
Потужність КП у мережі 0,4 кВ	550,0	50,0	0,0
Потужність КП у мережі 10 кВ	0,0	400,0	450,0
Споживання реактивної потужності	109,08	109,08	109,08
Всього за балансом	659,08	559,08	559,08
Орієнтовні витрати на компенсацію	11,03	21,4	797,9

Таким чином, проведені обчислення підтвердили економічну доцільність варіанта I. Найменші загальні витрати досягаються за умови компенсації реактивної потужності безпосередньо на шинах КТП 0,4 кВ, що мінімізує втрати енергії при її передачі та знижує капітальні вкладення у високовольтне обладнання.

Для реалізації обраного рішення доцільно встановити компенсуючі пристрої типу:

- 2 × УКЛ(П)Н-0,38-225-50УЗ
- 2 × УКЛ(П)Н-0,38-50УЗ

Ці установки забезпечують необхідний рівень компенсації та відповідають умовам експлуатації мережі низької напруги.

4.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв

Визначення кількості, типу, потужності та оптимального розміщення компенсуючих пристроїв має ґрунтуватися на досягненні найвищої економічної ефективності при забезпеченні нормативних рівнів напруги в живильних та розподільчих електромережах, а також допустимих струмових навантажень у всіх їх складових.

Компенсація реактивної потужності може здійснюватися як у мережах з напругою 0,4 кВ, так і у високовольтних лініях 10 кВ. Розподіл сумарної

						Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

потужності між цими рівнями напруг визначається на основі порівняння питомої вартості відповідних пристроїв, витрат на монтаж комутаційного обладнання, необхідність у встановленні додаткових трансформаторів, а також вартості електроенергії.

У процесі проектування електропостачання важливо розглядати декілька варіантів розміщення компенсуючих установок, щоб обрати рішення з найменшими загальними витратами.

Оцінка економічної доцільності кожного варіанту здійснюється шляхом обчислення зведених витрат, до складу яких входять:

- капіталовкладення на встановлення компенсуючих пристроїв і супутнього обладнання;
- скорочення витрат на трансформаторні підстанції, а також на побудову живильних і розподільчих ліній;
- зменшення витрат активної енергії в елементах мережі внаслідок застосування компенсації.

З урахуванням виробничої специфіки цеху та відносно невеликої встановленої потужності, доцільність застосування компенсуючих пристроїв на боці 10 кВ є сумнівною із технічної точки зору. Основним аргументом проти використання таких пристроїв на високовольтній стороні є те, що мінімальна ступінь регулювання конденсаторної батареї на 10 кВ становить 450 кВар, що значно перевищує потребу у реактивній потужності для більшості електродвигунів, які експлуатуються в цеху.

Основна маса споживачів становлять двигуни з номіналами 7,5–22 кВт, для яких необхідна набагато менша величина компенсації. Використання установки з такою великою ступінню регулювання призведе до надмірного повернення реактивної енергії у енергосистему, що може спричинити негативні наслідки — зокрема, фінансові втрати через збільшення плати за електроенергію внаслідок перекомпенсації.

З огляду на викладене, найбільш оптимальним є рішення щодо встановлення конденсаторних батарей на стороні низької напруги 0,4 кВ

						Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

трансформаторних підстанцій. Установки цього класу дозволяють забезпечити необхідну гнучкість в регулюванні, завдяки меншим ступеням потужності.

Виходячи з даних, наведених у таблиці 4.1, доцільно встановити чотири конденсаторні установки типу 2×УКЛ(П)Н-0,38-225-50У3 та дві установки 2×УКЛ(П)Н-0,38-50У3. Монтаж здійснюється на кожній секції шин трансформаторної підстанції, що дозволяє ефективно розподілити компенсацію по системі. Ступінь регулювання для таких установок складає 50 кВар, що забезпечує необхідну точність налаштувань у відповідності до навантаження.

Оптимальне розміщення отриманої потужності низьковольтних КП залежить від багатьох факторів, а саме від схеми електропостачання і розподілу навантаження цехової мережі.

Потужність компенсуючих пристроїв $Q_{кп} = 550$ кВар, її розподіляємо по магістральному шинопроводу ТП пропорційно їх некомпенсованому реактивному навантаженню на шинах 10 кВ.

Для схем із магістральними шинопроводами КП одиничною потужністю до 400 кВар підключають до мережі без додаткової установки відключаючого апарату (останній входить у комплект ККУ), а при потужності більше 400 кВар – через вимикаючий апарат.

На одиночному магістральному шинопроводі передбачається установка не більше двох близьких за потужністю КП.

Якщо основні реактивні навантаження шинопроводу приєднанні тільки до другої його половини, встановлюють тільки одну БК. Точку її підключення визначають із умови:

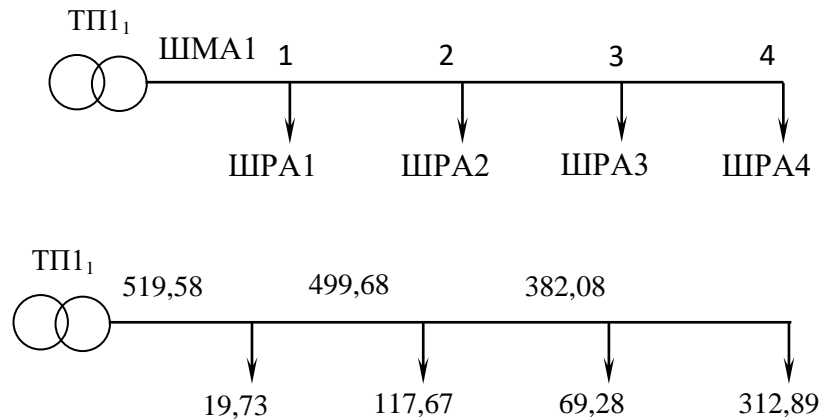
$$Q_f > \frac{Q_{нкд}}{2} > Q_{f+1},$$

де Q_f , Q_{f+1} – найбільші реактивні навантаження шинопроводу перед вузлом h та після нього відповідно.

					Арк.
					39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Таблиця 4.2 Результати перевірки шинопроводів за умовою (4.7)

Вузол	Виконання умов			
	1	2	3	4
ШМА	$519,5 > \frac{550}{2} < 499,6$ умова не виконується	$499,6 > \frac{550}{2} < 382$ умова не виконується	$382 > \frac{550}{2} > 312,8$ умова не виконується	$312,8 > \frac{550}{2} > 0$ умова виконується



На основі проведених розрахунків компенсації реактивної потужності встановлено, що доцільність встановлення компенсуючих пристроїв виникає виключно в районі шафи розподілу автоматів ШРА4. У зв'язку з цим, остаточно приймається рішення про застосування однієї батареї конденсаторів типу УКЛ(П)Н-0,38-536-67У3. Монтаж даної установки передбачається безпосередньо на відгалуженні до ШРА4, що дозволяє забезпечити ефективну локальну компенсацію реактивної потужності в найбільш навантаженій ділянці мережі.

5 ВИБІР КІЛЬКОСТІ, ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ТА МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ЦЕХОВИХ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ (ТП)

У внутрішньоцехових електромережах на напругу 10 кВ передбачено використання підстанцій, оснащених одним або двома трансформаторами. Такий вибір обумовлений низкою чинників, які впливають на визначення необхідної кількості трансформаторного обладнання:

- основна частина навантаження складається зі споживачів, які належать до другої категорії надійності електропостачання;
- електроспоживання сконцентровано у конкретних ділянках;
- виробничий процес організовано у дві зміни по 8 годин кожна.

Кількість трансформаторів та їх потужність взаємозалежні: при відомому значенні розрахункового навантаження цеху S_p , чисельність трансформаторів визначається з урахуванням прийнятої потужності кожного окремого агрегата.

У проектуванні часто зустрічається підхід, коли трансформаторне обладнання підбирають без проведення детального техніко-економічного аналізу. При цьому орієнтуються на коефіцієнти завантаження, визначені на основі очікуваних навантажень цеху. Зазвичай використовуються такі орієнтири:

- від 0,65 до 0,7 – для цехів з перевагою споживачів першої категорії при наявності двох трансформаторів на підстанції;
- у межах 0,7–0,8 – для цехів, де переважають споживачі другої категорії, за умови одного трансформатора і можливості резервування між підстанціями;
- 0,9–0,95 – коли навантаження здебільшого належить до другої або третьої категорії, а також у випадку доступності централізованого резерву (наприклад, зі складу).

						Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З огляду на високу експлуатаційну надійність сучасних трансформаторів і незначну ймовірність їхніх пошкоджень протягом 20–25 років, Правила улаштування електроустановок (ПУЕ) дозволяють короточасні аварійні перевантаження масляних силових трансформаторів до 40% від номінальної потужності. Такі перевантаження допустимі під час пікових навантажень загального добового графіка, але не довше ніж на 6 годин протягом доби і не більше 5 днів поспіль. При цьому добове навантаження не повинно перевищувати коефіцієнт заповнення 0,75 у таких умовах.

З урахуванням практики експлуатації та проектних рішень, для трансформаторних підстанцій, що живлять споживачів першої та другої категорій, доцільно передбачати два трансформатори однакової потужності, що підвищує надійність електропостачання.

Цехові трансформаторні підстанції, як правило, не обладнуються розподільчими пристроями на стороні високої напруги. Найбільш поширене пряме підключення кабельних ліній безпосередньо до трансформатора, що характерно для радіальної схеми живлення. У разі, якщо потужність трансформатора становить 1000 кВА і більше, замість роз'єднувача доцільно встановлювати вимикач навантаження.

Під час проектування цехових трансформаторних підстанцій доцільно надавати перевагу комплектним трансформаторним підстанціям (КТП), оскільки вони забезпечують компактність, зручність монтажу та експлуатації. Визначення кількості та потужності таких підстанцій здійснюється з урахуванням питомої щільності навантаження на площу виробничого приміщення.

У випадках, коли щільність навантаження не перевищує 0,2 кВА/м², доцільно використовувати трансформатори до 1000 кВА.

Якщо прийнято потужність одного трансформатора $S_{тр} = 1000$ кВА, то кількість необхідних трансформаторів n можна визначити за формулою:

						Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_{TP} = \frac{S_p}{(k_3 \cdot S_{н.тр})} = \frac{727,89}{(0,7 \cdot 1000)} = 1,039$$

Для встановлення в цеховій трансформаторній підстанції приймаємо трансформатор з номінальною потужністю $S_{н.тр} = 1000$ кВА.

Необхідно перевірити доцільність такого вибору з урахуванням ефективного завантаження трансформатора в штатних умовах експлуатації та забезпечення мінімально необхідного резерву у разі аварійної ситуації. При цьому номінальна потужність трансформатора визначається на основі розрахункового навантаження, яке припадає на найбільш завантажену зміну.

$$S_{PT} = \frac{S_{P.M}}{(N \cdot k_3)}$$

$$S_{o.mn2} = \frac{S_{PM}}{(N \cdot k_3)} = \frac{849,5}{2 \cdot 0,7} = 606,8 \text{ кВА}$$

Отримані в результаті розрахунків значення потужності необхідно округлити до найближчих типових номіналів трансформаторів. При цьому слід прагнути до мінімізації кількості різних типорозмірів за потужністю, що спрощує експлуатацію, облік та технічне обслуговування.

У післяаварійному режимі, коли один із трансформаторів виходить з ладу, залишені в роботі трансформатори повинні забезпечити повне навантаження за рахунок допустимого перевантаження. Згідно з вимогами ПУЕ, можливе перевищення номінальної потужності до 40% протягом обмеженого часу.

Враховуючи це, для цехових трансформаторних підстанцій доцільно передбачити встановлення трансформаторів типу ТМЗ потужністю 630 кВА у кількості двох одиниць: $2 \times \text{ТМЗ-630}$ кВА.

Таблиця 5.1. Вибір трансформаторів ТП-10/0,4 кВ

Місце встановлення ТП	Тип розміщення	Тип ТП	Кількість та тип тр-рів	S, кВА	K_3	$K_3^{\text{макс}}$
Металообробний цех	Вбудована	КТП 1×1000 кВА	ТМЗ-1000/10	727,89	0,73	0,925

						Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6 ВИБІР СХЕМИ ТА РОЗРАХУНОК ЦЕХОВОЇ МЕРЕЖІ

Електромережі в межах цеху поділяються на дві основні категорії: силову і освітлювальну. Кожна з них, у свою чергу, включає в себе живильні та розподільчі ділянки. Проектування внутрішньоцехових мереж здійснюється за радіальною, магістральною або комбінованою схемою.

Такі мережі повинні гарантувати надійне електроживлення обладнання відповідно до його класифікації за категоріями, а також демонструвати ефективність з точки зору технічних та економічних параметрів. Радіальні рішення вирізняються підвищеним рівнем надійності, що дає можливість легко інтегрувати системи автоматичного перемикачів та захисту.

У свою чергу, магістральні мережі зазвичай характеризуються нижчими витратами на будівництво. У конструкції внутрішньоцехових систем часто використовуються готові силові пункти та шинопроводи.

Враховуючи планування виробництва, особливості технологічних процесів, рівень відповідальності споживачів та умови середовища у приміщенні, формується схема електропостачання на напругу 0,4 кВ. Пропонується використовувати комплектні шинопроводи для побудови силової мережі. Орієнтиром для підбору обладнання виступають навантаження, обчислені у другому розділі кваліфікаційної роботи.

6.1. Розрахунок силової мережі цеху.

Для головних ліній електропостачання використовуються комплектні шинопроводи типу ШМА, які підбираються з урахуванням розрахункового струму трансформатора, що живить відповідну магістраль.

$$I_{\text{ШМА}} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{727,89}{1,73 \cdot 0,4} = 1051,86 \text{ A}$$

						Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У якості магістральних шинопроводів обираються моделі ШМА73У3 із заданими параметрами: $I_H = 1600 \text{ А}$, $I_{y0} = 70 \text{ кА}$, $r_o = 0,031 \text{ мОм/м}$, $x_o = 0,022 \text{ мОм/м}$.

Щодо розподільчих шинопроводів типу ШРА:

для ділянки ШРА-1 обрано модель ШРА73 з $I_H = 250 \text{ А}$;

Параметри та технічні характеристики обраних шинопроводів зведені в таблицю А1 Додатку А.

Допустимі значення втрати напруги визначаються за даними довідкових джерел (таблиці 86–87, 93 [8]) і узагальнюються у таблиці А2 Додатку А.

Згідно з вимогами ДЕСТ 13109-97, максимальна втрата напруги на клемах електродвигунів не повинна перевищувати 5%. Усі застосовані шинопроводи відповідають цій нормі.

Підбір кабелів для живлення верстатного обладнання

Вибір здійснюється з урахуванням допустимого струмового навантаження з урахуванням нагріву провідників.

$$I_n \leq I_{нрпн}$$

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi}$$

Для розподільчої мережі передбачено використання кабелів типу АПВ.

Підбір перерізів кабелів у розподільчій мережі виконано в табл. А3 Додатку А.

6.1.1. Розрахунок струмів КЗ.

Вибір обладнання для внутрішньоцехової електромережі

В якості головного магістрального шинопроводу прийнято модель ШМА 73 У3 з $I_{ном} = 1600 \text{ А}$.

Перевірка відповідності обраного шинопроводу умовам експлуатації:

1. За номінальним струмом:

						Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Шинопровід вважається придатним, якщо його струм не менший, ніж розрахунковий струм трансформатора:

$$I_{ШМА} \geq I_{ном.тр}; \quad 1600 \text{ А} \geq 1521 \text{ А}$$

$$I_{ном тр} = 1,4 S_{н тр} / (\sqrt{3} U) = 1000 / (\sqrt{3} \cdot 0,38) = 1521 \text{ А}$$

2. Оцінка електродинамічної стійкості:

Зіставляються допустиме та фактичне значення струму короткого замикання

$$i_{уд доп} \geq i_{уд} \quad 70 \text{ кА} \geq 19,8 \text{ кА}$$

Дані для розрахунку електричних опорів:

– Опір живильної системи

$$x_c = U_{н2} / S_{кз} = 0,382 / \infty = 0,7 \text{ МОм},$$

$$\text{де } S_{кз} = \sqrt{3} U_{ном} I_{кз} = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 12,8 = 225 \text{ МВА.}$$

– Опір кабелів, що підключають цех:

$$r_o = 0,592 \text{ МОм/км}, \quad x_o = 0,429 \text{ МОм/км}, \quad l_{кт} = 0,154 \text{ км},$$

$$R_{кт} = 0,091 \text{ МОм}, \quad X_{кт} = 0,066 \text{ МОм}, \quad Z_{кт} = 0,027 \text{ МОм.}$$

– Опори трансформатора КТП:

$$X_{тр} = 8,5 \text{ МОм}, \quad R_{тр} = 2,0 \text{ МОм}, \quad Z_{тр} = 8,8 \text{ МОм}, \quad Z_{тр}^{(1)} = 27 \text{ МОм}$$

Сумарний опір системи й кабелів, приведений до 0,38 кВ:

$$Z_{\Sigma} = \frac{0,091 + 0,066}{\left(\frac{10}{0,4}\right)^2} = 0,25 \text{ МОм}$$

Опори трансформаторів струму:

$$r_{тт} = 0,05 \text{ МОм} \quad x_{тт} = 0,07 \text{ МОм.}$$

Опір вимикаючих апаратів:

$$r_{кот} = 0,03 \text{ МОм} \quad x_{кот} = 0,07 \text{ МОм} \quad r_k = 0,1 \text{ МОм}$$

						Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Опір шинопроводу ШМА:

$$r_0 = 0,005 \text{ мОм/м} \quad x_0 = 0,013 \text{ мОм/м}$$

Тоді

$$r_{\text{шма}} = r_0 l = 0,005 \cdot 22 = 0,011 \text{ мОм}$$

$$x_{\text{шма}} = x_0 l = 0,013 \cdot 22 = 0,28 \text{ мОм.}$$

Сумарні величини опорів:

- активна складова

$$r_{\Sigma 1} = r_{\text{тр}} + r_{\text{тг}} + 2r_{\text{кот}} + 2r_{\text{к}} + r_{\text{шма}} = 2 + 0,05 + 2 \cdot 0,03 + 2 \cdot 0,1 + 0,011 = 3,18 \text{ мОм;}$$

- реактивна складова

$$x_{\Sigma 1} = x_{\text{тр}} + x_{\text{тг}} + 2x_{\text{кот}} + x_{\text{шма}} = 8,8 + 0,07 + 2 \cdot 0,07 + 0,28 = 10 \text{ мОм;}$$

Опір петлі фаза - нуль:

$$Z_{\text{петлі шма}} = Z_0 \text{ петлі шма } l = 0,145 \cdot 22 = 2,9 \text{ мОм.}$$

Повторна перевірка електродинамічної стійкості:

$$i_{\text{уд доп}} \geq i_{\text{уд}} \quad 90 \text{ кА} \geq 19,8 \text{ кА}$$

Відповідно до даних таблиці 6.1, для ділянки ШРА-1 обрано шинопровід моделі ШРА73 з $I_{\text{доп}} = 250 \text{ А}$.

Проведем оцінку відповідності умовам експлуатації.

Перевірка електродинамічної стійкості:

Порівнюємо граничне та розрахункове значення струму короткого замикання:

$$i_{\text{уд доп}} \geq i_{\text{уд}} \quad 35 \text{ кА} \geq 11,3 \text{ кА}$$

Характеристики обладнання в ланцюзі.

Вимикаючі пристрої:

$$r_{\text{кот}} = 0,15 \text{ мОм} \quad x_{\text{кот}} = 0,1 \text{ мОм} \quad r_{\text{к}} = 0,4 \text{ мОм}$$

Параметри шинопроводу ШРА:

$$r_0 = 0,21 \text{ мОм/м} \quad x_0 = 0,1 \text{ мОм/м.}$$

					Арк.
					47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Тоді

$$r_{\text{шра}} = r_0 l = 0,21 \cdot 82 = 17,22 \text{ мОм}$$

$$x_{\text{шра}} = x_0 l = 0,1 \cdot 82 = 8,2 \text{ мОм.}$$

- Сумарні опори ділянки:

Активна складова:

$$r_{\Sigma 2} = r_{\text{кот}} + r_{\text{к}} + r_{\Sigma 1} + r_{\text{шра}} = 0,15 + 0,4 + 3,18 + 17,22 = 20,95 \text{ мОм};$$

Реактивна:

$$x_{\Sigma 2} = x_{\text{кот}} + x_{\Sigma 1} + x_{\text{шра}} = 0,1 + 10 + 8,2 = 18,3 \text{ мОм.}$$

Повний опір:

$$z_2 = \sqrt{(r_{\Sigma}^2 + x_{\Sigma}^2)} = \sqrt{(20,95^2 + 18,3^2)} = 27,8 \text{ мОм.}$$

- Опір петлі «фаза – нуль»:

$$z_{\text{петлі шра}} = z_0 \text{ петлі шра} l + z_{\text{петлі шма}} = 0,55 \cdot 82 + 2,9 = 48 \text{ мОм.}$$

Розрахунок і вибір кабелю для різьбонарізного верстата.

Необхідна площа перерізу жили:

$$F_e = I_p / j_{\text{ек}} = 6,5 / 1,2 = 5,4 \text{ мм}^2,$$

де

$$I_p = S_p / (\sqrt{3} \cdot U_n) = 9,9 / (\sqrt{3} \cdot 0,38) = 6,5 \text{ А}$$

Вибраний тип проводу: АВВГ 4х16 мм² з I_{доп}=95 А.

Перевірка за струмом:

$$I_p \leq K_n I_{\text{доп}} \quad 6,5 \text{ А} \leq 1 \cdot 95 \text{ А}$$

Параметри лінії:

Вимикаючі пристрої:

$$r_{\text{кот}} = 5,5 \text{ мОм} \quad x_{\text{кот}} = 2,7 \text{ мОм} \quad r_{\text{к}} = 1,3 \text{ мОм}$$

Провід:

					Арк.
					48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

$$r_0 = 2,08 \text{ мОм/м} \quad x_0 = 0,07 \text{ мОм/м}$$

Тоді

$$r_{\text{кл}} = r_0 l = 2,08 \cdot 5 = 10,4 \text{ мОм}$$

$$x_{\text{кл}} = x_0 l = 0,07 \cdot 5 = 0,35 \text{ мОм.}$$

Сумарний опір від шинопроводу до споживача:

Активна частина:

$$r_{\Sigma 3} = r_{\text{кот}} + r_{\text{к}} + r_{\text{кл}} = 5,5 + 1,3 + 10,4 = 17,2 \text{ мОм}$$

Реактивна частина:

$$x_{\Sigma 3} = x_{\text{кот}} + x_{\text{кл}} = 2,7 + 0,35 = 3,05 \text{ мОм}$$

$$z_3 = \sqrt{(r_{\Sigma 2} + r_{\Sigma 3})^2 + (x_{\Sigma 2} + x_{\Sigma 3})^2} = \sqrt{(20,95 + 17,2)^2 + (18,3 + 3,05)^2} = 43,7 \text{ мОм.}$$

Повний опір ділянки фаза – нуль:

$$z_{\text{пз}} = z_{\text{петлі шра}} + z_0 \text{ петлі кл} \cdot l = 48 + 4,43 \cdot 5 = 70,15 \text{ мОм.}$$

Розрахунок струмів КЗ.

Розрахунок струмів короткого замикання виконується шляхом побудови електричної схеми та схеми заміщення цехової мережі — від джерела живлення до найбільш віддаленого споживача. Це дозволяє точно визначити величину струмів короткого замикання, необхідних для перевірки стійкості обраного електрообладнання.

Трифазний струм короткого замикання використовують для оцінки здатності обладнання витримувати дії струму за умов аварійного режиму.

Його обчислюють за формулою:

						Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{кз}^{(3)} = \frac{U_{л}}{\sqrt{3} \cdot Z_{рез}}, \quad (6.9)$$

де $U_{л}$ – лінійна напруга;

$Z_{рез}$ – сумарний опір усіх елементів електромережі.

Однофазний струм короткого замикання визначають для перевірки ефективності роботи захисного відключення, а також для проведення розрахунків заземлення. Його значення обчислюється за формулою:

$$I_{кз}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{Z_T / \sqrt{3} + Z_n}, \quad (6.10)$$

де U_{ϕ} – фазна напруга мережі;

Z_T – повний опір трансформатора при однофазному замиканні;

Z_n – повний опір ділянки петлі фаза-нуль.

Для ділянки ШМА-1:

Розрахункове значення трифазного короткого замикання становить:

$$I_{к1}^{(3)} = U_n / (\sqrt{3} z_1 + z_{\Sigma 1}) = 380 / \sqrt{3} \cdot (10,05 + 10,5) = 10,7 \text{ кА.}$$

Максимальний ударний струм визначається за формулою:

$$i_{уд} = \sqrt{2} K_{уд} I_{к1}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 10,7 = 15,4 \text{ кА.}$$

Значення струму однофазного замикання:

$$I_{к1}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{z_m^{(1)}}{3} + z_{петлішма}} = \frac{220}{\frac{27}{3} + 2,9} = 18,5 \text{ кА}$$

Для ділянки ШРА:

Трифазне коротке замикання розраховується як:

$$I_{к2}^{(3)} = U_n / (\sqrt{3} z_1 + z_{\Sigma 2}) = 380 / \sqrt{3} \cdot (10,5 + 27,8) = 5,7 \text{ кА.}$$

Ударний струм для цієї ділянки буде:

$$i_{уд} = \sqrt{2} K_{уд} I_{к2}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 5,7 = 8,25 \text{ кА.}$$

					Арк.
					50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Струм однофазного замикання також визначається на основі відповідних опорів петлі та трансформатора:

$$I_{к2}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{z_m^{(1)}}{3} + z_{петліюра}} = \frac{220}{\frac{27}{3} + 48} = 3,9 \text{ кА}$$

Для кабельної лінії (КЛ):

Величина трифазного струму короткого замикання обчислюється за виразом:

$$I_{к3}^{(3)} = U_{н}/(\sqrt{3}z_1 + z_{\Sigma 3}) = 380/\sqrt{3} \cdot (10,5 + 43,7) = 4,05 \text{ кА.}$$

Ударний струм, який виникає в момент короткого замикання, дорівнює:

$$i_{уд3} = \sqrt{2} K_{уд} I_{к3}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 4,05 = 5,83 \text{ кА.}$$

Розрахунок однофазного струму короткого замикання

$$I_{к3}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{z_m^{(1)}}{3} + z_{н3}} = \frac{220}{\frac{27}{3} + 70,15} = 2,77 \text{ кА}$$

Узагальнені результати для інших точок мережі наведені в таблиці А4 Додатку А4.

6.1.2. Вибір автоматичних вимикачів.

У виробничих приміщеннях встановлено комплектну трансформаторну підстанцію (КТП) потужністю 1000 кВА. Ввідні шафи виконано на базі моделі КН-6, до складу яких входять автоматичні вимикачі типу АВМ. Враховуючи це, обираємо для установки саме такі апарати.

Номінальний струм автоматичного вимикача повинен відповідати значенню струму трансформатора при максимальному навантаженні з урахуванням можливого перевантаження.

					Арк.
					51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Вибір ввідного і секційного вимикачів:

Розрахунковий номінальний струм:

$$I_H = \frac{S_{тр}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1521 \text{ А}$$

Прийнято автоматичний вимикач АВМ-20Н.

Номінальне значення струму автомата: $I_{н.авт} = 2000 \text{ А}$

Струм, який витримує розмикач: $I_{н.розм} = 2000 \text{ А}$

Струм спрацювання у зоні захисту від перевантаження:

$$I_{у.тепл} = 1,25 \cdot I_{н.розм} = 1,25 \cdot 2000 = 2500 \text{ А}$$

Для перевірки селективності автомат також оцінюється за стійкістю до струмів короткого замикання:

$$I_{у.розм} = 5 \cdot I_{н.розм} = 5 \cdot 2000 = 10000 \text{ А}$$

$$I_{уд}^{(3)} = 10,71 > 10 \text{ кА (допустиме значення витримується)}$$

Струм однофазного короткого замикання на шинах НН трансформатора КТП:

$$I^{(1)} = 18,5 > 10 \text{ кА}$$

Перевірка автомата:

$$1. I_{кз}^{(1)} \geq 1,25 \cdot I_{у.розм} \quad 18,5 > 12,5 \text{ кА}$$

$$2. I_{дин} \geq I_{уд}^{(3)} \quad 30 > 10,7 \text{ кА}$$

Обраний автоматичний вимикач типу АВМ-20Н відповідає всім вимогам надійності, забезпечує належний рівень захисту та витримує як перевантаження, так і струми короткого замикання.

Вибір ввідних автоматичних вимикачів для ШРА.

Для розподільчого шинопроводу ШРА-1 із $I_p = 56,4 \text{ А}$ для забезпечення надійної роботи системи обрано шинопровід ШРА-73 з $I_n = 250 \text{ А}$.

					Арк.
					52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

В якості засобу захисту прийнято автоматичний вимикач типу АВМ-4Н:

Номінальний струм контактної частини: $I_{н.розм} = 250$

Значення струму спрацювання по перевантаженню:

$$I_{у.тепл} = 1,25 \cdot I_{н.розм} = 1,25 \cdot 250 = 310 \text{ А}$$

Спрацювання за струмом короткого замикання:

$$I_{у.розм} = 5 \cdot I_{н.розм} = 5 \cdot 250 = 1250 \text{ А}$$

Оцінка спрацювання автомата:

Перевірка за умовами трифазного короткого замикання:

$$I_{к2}^{(3)} = 5,7 \text{ кА} \geq I_{у.розм} = 1,25 \text{ кА}$$

(вимикач гарантовано спрацює)

Перевірка за умовами однофазного короткого замикання:

$$I_{к2}^{(1)} = 3,9 \text{ кА} \geq (1,3 - 1,5) I_{у.розм} = 1,875 \text{ кА.}$$

(також забезпечується надійне спрацювання)

Автомат АВМ-4Н відповідає технічним вимогам по номінальному струму, перевантаженню та короткому замиканню. Його застосування забезпечує ефективний захист мережі ШРА-1.

Подальші вибори автоматичних вимикачів для інших ліній наведено в таблиці А5 Додатку А.

Встановлення автоматичних вимикачів на відпайках від ШРА-1.

Для захисту споживачів, підключених через відпайки від шинопроводу ШРА-1, передбачено використання автоматичних вимикачів серії А3700.

Нижче наведено приклад розрахунку для одного з таких споживачів — металообробного верстата з потужністю навантаження $P_H = 11$ кВт.

Розрахунок струму навантаження:

$$I_p = P_H \cdot \eta / \sqrt{3} U_H \cdot \cos \varphi = 11 \cdot 0,89 / 1,73 \cdot 0,38 \cdot 0,8 = 16,73 \text{ А}$$

					Арк.
					53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Обрано автомат серії А3700 з номінальним струмом розчіплювача $I_{н.розц} = 25 \text{ А}$

Уставки спрацювання:

– Тепловий розчіплювач:

$$I_{у \text{ тепл}} = 2,5 I_{н \text{ розц}} = 2,5 \cdot 25 = 50 \text{ А}$$

– Електромагнітний розчіплювач (струм КЗ):

$$I_{у \text{ розч}} = 6 I_{р \text{ ном}} = 6 \cdot 25 = 150 \text{ А.}$$

Перевірка автоматичного вимикача на спрацювання:

– За трифазним коротким замиканням:

$$I_{к2}^{(3)} = 4,05 \text{ кА} \geq I_{у \text{ розц}} = 0,15 \text{ кА}$$

– За однофазним коротким замиканням:

$$I_{к1}^{(1)} = 2,77 \text{ кА} \geq (1,3 - 1,5) I_{у \text{ розц}} = 0,22 \text{ кА.}$$

Автоматичний вимикач типу А3700 з номіналом 25 А забезпечує надійний захист верстата як від перевантажень, так і від коротких замикань. Його характеристики відповідають вимогам до захисту в умовах цехової мережі.

6.2. Розрахунок освітлювальної мережі цеху.

Головним завданням при проектуванні освітлювальних мереж є підбір перерізів проводів і типів кабелю, що здатні пропускати розрахунковий струм споживаного навантаження без перевищення допустимого нагріву. При цьому проводи повинні також мати необхідну механічну міцність. На всіх ділянках мережі потрібно виконати перевірку на відповідність струму нагрівальної здатності:

$$I \leq I_{\text{доп}}$$

де I — розрахунковий струм навантаження, $I_{\text{доп}}$ — максимально допустимий струм для обраного перерізу.

						Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ще одним важливим критерієм під час розрахунку освітлювальних мереж є дотримання допустимого падіння напруги на клеммах світильників. Допустимі втрати напруги визначаються за формулою

$$\Delta U_{\text{доп}\%} = U_{\text{хх}} - U_{\text{min}} - \Delta U_{\text{T}} \quad (6.2.1)$$

де $U_{\text{хх}}$ – напруга холостого ходу трансформатора, %;

U_{min} – найнижче допустиме значення напруги в точці найбільш віддаленого освітлювального приладу, %;

ΔU_{T} – зниження напруги в самому трансформаторі, з урахуванням його потужності, навантаження і коефіцієнта потужності.

$$\Delta U_{\text{T}} = K(U_{\text{a}} \cos\varphi + U_{\text{p}} \sin\varphi) \quad (6.2.2)$$

де $U_{\text{a}} = 100 \Delta P_{\text{кз}} / S_{\text{н.т}}$ – активна частка напруги короткого замикання, %;

$\Delta P_{\text{кз}}$ – потужність втрат у режимі короткого замикання, кВт;

$U_{\text{p}} = \sqrt{(U_{\text{к}}^2 - U_{\text{a}}^2)}$ – реактивна складова напруги короткого замикання, %;

$U_{\text{к}}$ – повна напруга короткого замикання, %.

Значення $\Delta P_{\text{кз}}$ та $U_{\text{к}}$ надаються у таблицях 3-4 [6]. Коли відомо значення допустимого падіння напруги, довжина лінії та споживана потужність, обирається відповідний переріз проводу згідно з виразом:

$$F = M / C \cdot \Delta U_{\text{доп}} \quad (6.2.3)$$

де $M = P \cdot l$ – момент навантаження, що є добутком потужності та довжини кабельної лінії, кВт·м;

C – коефіцієнт, який залежить від типу мережі, напруги та матеріалу провідника, і береться з нормативної таблиці 6.1 [2].

Під час виконання розрахунків для освітлювальної мережі, що має розгалуження, визначення необхідного перерізу провідника на окремій ділянці виконується на основі допустимого падіння напруги $\Delta U_{\text{доп}}$, яке

					Арк.
					55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

припадає на початок цієї ділянки. При цьому враховується так званий приведений момент навантаження, який обчислюється за формулою:

$$F_{A-1} = \frac{\sum_{i=1}^n M + \lambda \sum_{j=1}^n m}{C \cdot \Delta U_{дон}} \quad (6.2.4)$$

де $\sum_{i=1}^n M + \lambda \sum_{j=1}^n m$ – приведений момент навантаження, що враховує як потужність на поточній ділянці, так і на подальших, живлених від неї ділянках, кВт·м;

$\sum_{i=1}^n M$ – сума моментів цієї та наступних ділянок, де кількість жил у проводі збігається з кількістю на поточній ділянці;

λ – коефіцієнт перерахунку моментів, залежить від числа провідників на основній лінії та в розгалуженнях. Його значення береться з таблиці 6.2 [2];

$\sum_{j=1}^n m$ – сукупний момент для ділянок, які живляться від розглядуваної, але мають іншу кількість жил у проводі, ніж на цій ділянці.

Таким чином, для кожної ділянки розгалуженої мережі необхідно враховувати не тільки її власне навантаження, але й вплив наступних ділянок із урахуванням конфігурації та числа провідників. Це дозволяє більш точно визначити переріз проводу, що забезпечить нормативні умови по падінню напруги й надійності живлення.

						Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

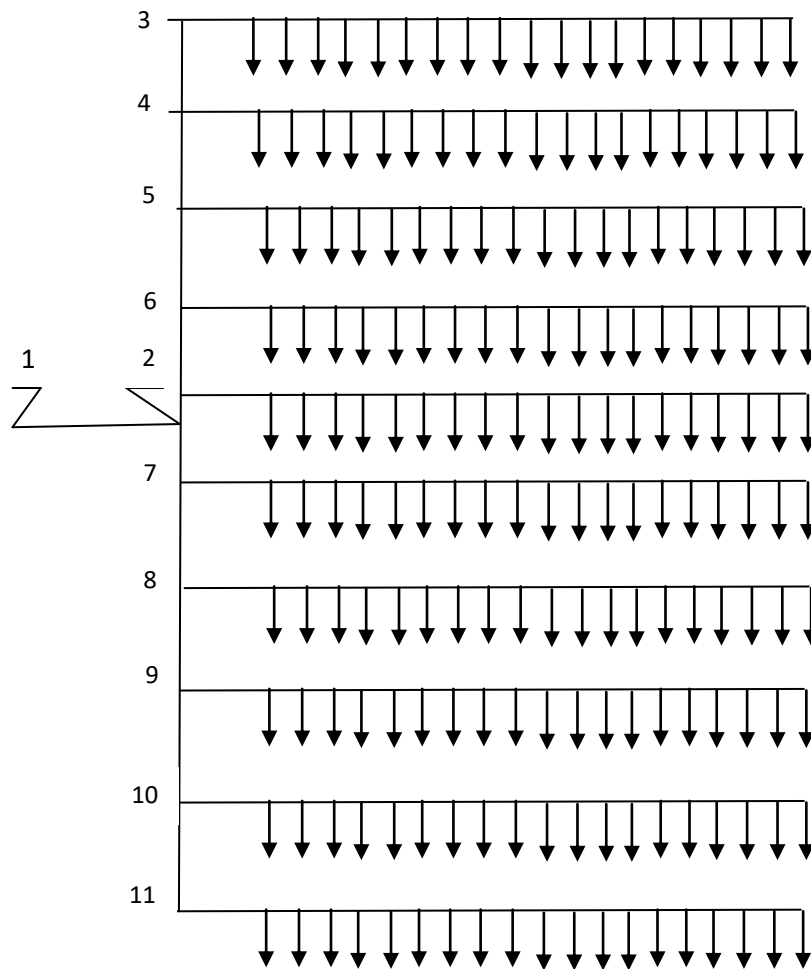


Рисунок 6.1- Схема освітлювальної мережі металообробного цеху.

Мінімально допустиме значення напруги для живлення освітлювального обладнання визначається з урахуванням допустимого відхилення від номіналу:

$$U_{\min} = 97,5\% \cdot U_n, U_{\max} = 105\% \cdot U_n.$$

Розрахунок втрат напруги на трансформаторі виконується за стандартною методикою:

$$\Delta U_m = \kappa \cdot (U_a \cdot \cos \varphi + U_p \cdot \sin \varphi)$$

					Арк.
					57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

$$U_a = \frac{100 \cdot \Delta P_{\text{кз}}}{S_{\text{н.тр}}} = \frac{100 \cdot 10,5}{1000} = 0,12\%$$

$$\Delta P_{\text{кз}} = 10,5 \text{ кВт}$$

$$U_x = 5,5\%$$

$$U_p = \sqrt{U_k^2 - U_a^2} = \sqrt{5,5^2 - 0,12^2} = 5,5\%$$

$$\Delta U_m = 0,56 \cdot (0,12 \cdot 0,95 + 5,5 \cdot 0,31) = 1,02\%$$

$$\Delta U_{\text{дон}} = U_x - \Delta U_m - U_{\text{min}} = 105 - 1,02 - 97,5 = 6,48\%$$

Від комплектної трансформаторної підстанції до щита освітлення типу ЩО41 прокладено кабель з чотирма жилами завдовжки 12 метрів. Щоб розрахувати потрібний переріз кабелю, рівномірне навантаження уздовж лінії умовно зосереджують посередині ділянки.

Далі визначаються моменти навантаження на всіх сегментах освітлювальної мережі — це добуток потужності на довжину.

$$M_{12} = \Sigma P \cdot l_{12} = 49 \cdot 12 = 588 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

Для знаходження потрібного перерізу кабелю використовують формулу:

$$F_{12} = \frac{\alpha \cdot \Sigma m}{C \cdot \Delta U_{\text{дон}}}$$

де α — коефіцієнт, що враховує перехід навантаження між ділянками мережі з різною кількістю провідників, $\alpha = 1,05$;

Σm — сумарне навантаження у вигляді моментів усіх гілок, що приєднані до розрахункової ділянки;

$C = 44$ — для мережі з чотирма жилами;

$C = 7,4$ — для мережі з двома провідниками.

$$F_{12} = \frac{588 + 1,85 \cdot (465 + 391 + 362 + 334/2 + 465 + 391 + 362)}{44 \cdot 5} = 29,25 \text{ мм}^2$$

						Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На основі розрахунків визначаємо дійсну втрату напруги в мережі, щоб переконатися, що вона не перевищує допустимих значень, встановлених нормативами:

$$\Delta U_{12} = \frac{M_{12}}{C \cdot F_{12}} = \frac{588}{44 \cdot 29,25} = 0,45\%$$

Вибір перерізу кабелю між КТП і освітлювальними пристроями здійснюється також з урахуванням мінімально допустимого перерізу, необхідного для забезпечення належної механічної надійності: $F = 2,5 \text{ мм}^2$.

Розрахунковий аналіз виконано у вигляді таблиці А6 Додатку А.

Монтаж кабелів у системі освітлення виконується з використанням проводу типу АПВ. До місця підвішування світильників проводку вкладають в металеві труби діаметром 40 мм, а далі — по тросу з сталевого дроту діаметром 5,5 мм.

Подача напруги на освітлювальні лінії здійснюється від щитів моделей ЩО 31–32, що обладнані автоматичними вимикачами: ввід — А3720, відгалуження — А3710.

Для розподілу електроенергії, а також захисту групових ліній у мережах із глухозаземленою нейтраллю від перевантаження та струмів короткого замикання при нарузі 380 В передбачено застосування освітлювальних щитів типу ЩОГ. В даному випадку обрано модель ЩОГ-6.

Характеристика освітлювального щитка наведена в табл. А7 Додатку А.

6.3. Техніко-економічне порівняння варіантів.

Живлення обладнання в цеху може здійснюватися як через силові пункти, для яких навантаження розраховані в таблиці 6.7, так і з використанням шинопроводів. Відповідні електричні схеми представлені на рисунках 6.3 та 6.4.

						Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У першому варіанті передбачено підключення обладнання безпосередньо до шинопроводів, у другому — через силові пункти.

Підбір шинопроводів було виконано раніше в пункті 6.1, тому далі розглянемо приклад обчислення параметрів кабелю, що живить силовий пункт №1.

Потужність навантаження для СП1 становить 21,3 кВА.

Відповідно, струм, який споживається лінією живлення СП:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{21,3}{1,73 \cdot 0,38} = 32,4 \text{ А}$$

Розрахунковий перетин провідника:

$$F_p = \frac{I_p}{j_{ек}} = \frac{32,4}{1,2} = 26,9 \text{ мм}^2$$

З урахуванням цього вибираємо для живлення СП1 кабель типу АПВГ-4 (4x35), розрахований на тривалий струм $I_{доп} = 75 \text{ А}$.

Виконуємо перевірку кабелю на відповідність допустимому струмовому навантаженню:

$$I_p > I_{доп} \cdot K_{пр}$$

$$32,4 > 1 \cdot 75 \text{ А}$$

Необхідна умова виконується, отже, обраний кабель витримує заданий струм без перевищення допустимого нагріву.

Далі оцінюємо втрати напруги на ділянці:

$$\Delta U_{\%} = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot I_p}{U_n} (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi) =$$

$$= 1,73 \cdot 100 \cdot 32,4 / 380 (0,95 \cdot 0,81 + 0,06 \cdot 0,59) = 0,12 \% < 5\%.$$

Розрахунок показує, що значення втрати напруги не перевищує допустиму межу, тому обраний перетин кабелю відповідає вимогам.

Оскільки від СП1 передбачається живлення 12 одиниць обладнання, приймаємо для встановлення силовий пункт типу ПР-9332.

Розрахунки інших складових схеми подано в таблиці А8 Додатку А.

					Арк.
					60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Втрати потужності та відповідні енергетичні втрати в кабельній лінії становлять:

$$\Delta E_1 = \Delta P_{\text{л}} \cdot \tau = 0,059 \cdot 2455,6 = 144,88 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Питомі втрати потужності на лінії розраховуються за формулою:

$$\Delta P_{\text{л}} = \Delta P_{1\text{км}} \cdot l \cdot K_3^2 = 8 \cdot 0,032 \cdot 0,5^2 = 0,05899 \text{ кВт}$$

Загальна довжина кабелю:

$$l = l \cdot n_{\text{л}} = 0,032 \cdot 1,0 = 0,03 \text{ км}$$

$n_{\text{л}}$ - кількість паралельно прокладених ліній в одному контурі, шт

Вартість втраченої електроенергії:

$$C_{\text{втрат}} = \Delta E_1 \cdot C_0 = 144,88 \cdot 2,7 = 391,18 = 0,04 \text{ т грн.}$$

де C_0 – тариф на електроенергію, що наразі становить 2,7 грн/кВт·год (відповідно до чинних тарифів).

Розрахунок втрат електроенергії в мережі виконано у вигляді таблиці А9 Додатку А.

Порівняння техніко-економічних характеристик обох варіантів представлено у таблицях А10–А12. Додатку А.

Остаточний вибір схеми живлення металообробного цеху здійснено з урахуванням особливостей конструкції будівлі та розміщення технологічного обладнання. На основі техніко-економічного аналізу та зручності монтажу, експлуатації та обслуговування прийнято рішення на користь варіанту із застосуванням шинопроводів.

						Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7 РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ І ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ТА НИЗЬКОВОЛЬТНОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

7.1. Розрахунок струмів короткого замикання

При розрахунках струмів короткого замикання важливо мати інформацію про їх значення у різних точках електричної мережі. Це необхідно для вибору і перевірки різного обладнання мережі. При обчисленні цих струмів враховуються певні припущення:

1. Припускається, що фази ЕДС генераторів залишаються сталими протягом всього процесу короткого замикання.
2. Не береться до уваги насичення магнітних систем.
3. Не враховуються струми намагнічування трансформаторів.
4. Не ураховується ємність мережі.
5. Припускається симетричність мережі.
6. Не враховується активний опір при умові, що $X/R > 3$.

Для обчислення цих струмів складається розрахункова схема у однолінійному зображенні. Вона включає всі джерела живлення місця короткого замикання і всі елементи електропостачання (трансформатори, лінії, реактори), що розташовані між ними та місцем короткого замикання. Синхронні компенсатори, синхронні та асинхронні двигуни розглядаються як джерела живлення.

На основі розрахункової схеми складається схема заміщення, коли всі елементи представлені опорами, переведеними до базисних умов. Потім ця схема заміщення перетворюється й спрощується до еквівалентної форми. Згідно з діючими рекомендаціями у схемі заміщення враховуються лише реактивні опори.

Розглянемо індуктивні параметри схеми заміщення та приведемо опір до 10 кВ:

						Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$X_c = \frac{U_c}{\sqrt{3} \cdot I_x} = \frac{150}{\sqrt{3} \cdot 16} = 5,41 \text{ Ом}$$

$$X_{nl} = X_o \cdot l = 0,43 \cdot 4 = 1,72 \text{ Ом}$$

$$X_{mp} = \frac{U_{кв}}{100} \cdot \frac{U_H^2}{S_H} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{110^2}{40} = 34,68 \text{ Ом}$$

$$X_{\Sigma} = (X_c + X_{nl} + X_{mp}) \cdot \frac{1}{K_m^2} = (0,41 + 1,72 + 34,7) \cdot \left(\frac{10,5}{110}\right)^2 = 0,5 \text{ Ом}$$

$$X_{кл} = 0,45 \text{ Ом}$$

Отже, отримуємо значення струму короткого замикання:

$$I_{кз} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot (X_{\Sigma} + X_{кл})} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot (0,5 + 0,45)} = 5,7 \text{ кА}$$

Вибір силових кабелів:

Обраний переріз повинен відповідати вимогам допустимого струмового навантаження з урахуванням нагріву. Для цього використовується наступна умова:

$$I_p \leq K_n \cdot I_{прин}, \quad (7.1)$$

де $I_{прин}$ – тривалий допустимий струм з урахуванням нагріву;

K_n – коригувальний коефіцієнт, який враховує кількість одночасно працюючих кабелів, прокладених у ґрунті поруч (див. таблицю 1.3.26 [9]).

Щоб забезпечити надійну роботу силового кабелю під час післяаварійних режимів, необхідно перевірити обраний переріз за умовами перевантаження. Для цього застосовується наступна формула:

$$I_{p.ав} \leq K_{ан} \cdot K'_n \cdot I_{прин}, \quad (7.2)$$

де K'_n – поправочний коефіцієнт, що враховує кількість кабелів у післяаварійному режимі;

$K_{ан}$ – граничне значення допустимого перевантаження при аварії;

$I_{p.ав}$ – струм, що протікає в кабелі під час аварійного режиму.

					Арк.
					63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Також визначається мінімально допустима площа перерізу з точки зору термічної витривалості матеріалу:

$$F_{\min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} \quad (7.3)$$

де C – термічний коефіцієнт, залежно від матеріалу та типу ізоляції: для алюмінієвих жил з паперовою ізоляцією при напрузі 6 кВ — $C = 92$, при 10 кВ — $C = 94 \text{ А} \cdot \text{с}^{1/2}/\text{мм}^2$;

B_k – величина теплового імпульсу.

$$B_k = I_{н.о.}^2 \cdot (t_{\epsilon_{\text{шлук}}} + T_A) \quad (7.4)$$

Далі розраховується величина струму, яка буде проходити по кабелю в нормальних і аварійних умовах:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{729,89}{1\sqrt{3} \cdot 10} = 42,2 \text{ А}$$

$$I_{p.ав} = \frac{S_p}{n\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{1,25 \cdot 729,89}{1\sqrt{3} \cdot 10} = 52,74 \text{ А}$$

На основі розрахунків для прокладки було обрано кабель типу ААШВ-10 (3×35 мм²).

$$I_{дон} = 115 \text{ А} \quad F = 35 \text{ мм}^2$$

Однак, після перевірки умов термічної стійкості до струмів короткого замикання, а також з урахуванням економічної щільності струму, остаточним вибором стає кабель ААШВ-10 (3×185 мм²):

$$F_{\min} = I_{\infty} \cdot \frac{\sqrt{t_{пз}}}{K_M} = 5,7^2 \cdot \frac{\sqrt{1}}{95} = 136,1 \text{ мм}^2$$

Вибір кабелів начедено в таблиці Б1 Додатку Б.

						Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір вимикачів.

Для головного розподільчого пункту (ГЗП) заводу рекомендовано встановлення комплектних розподільчих установок (шаф КРУ) серії КУ-10Ц, обладнаних вакуумними вимикачами ВР 1 10/630 у модернізованому виконанні. Підбір вимикачів здійснюється за загальноприйнятою методикою, результати якої подаються у вигляді таблиці Б2.

Основні критерії, за якими здійснюється вибір:

- Робоча напруга установки: $U_{вст} \leq U_{ном}$ (7.5)

- Номінальний струм тривалої дії:

$$I_{норм} \leq I_{ном}; \quad I_{max} \leq I_{ном} \quad (7.6)$$

- Здатність до вимкнення струму короткого замикання.

Першим етапом перевіряється можливість відключення симетричного струму короткого замикання відповідно до умови:

$$I_{нт} \leq I_{відкл.ном} \quad (7.7)$$

Далі перевіряється спроможність вимикача відключити аперіодичну (несинусоїдальну) складову струму короткого замикання:

$$i_{a\tau} \leq i_{аном} = \sqrt{2} \cdot \beta_n \cdot I_{відкл.ном} \quad (7.8)$$

де $i_{a,ном}$ – граничне допустиме значення аперіодичної складової в момент вимикання при часі τ ;

β_n – нормоване значення аперіодичної компоненти струму вимикання;

$i_{a,\tau}$ – фактичне значення аперіодичної складової струму к.з. на момент розмикання контактів τ ;

τ – інтервал часу від виникнення короткого замикання до початку розходження дугогасильних контактів. Цей час розраховується за формулою:

$$\tau = t_{з.мин} + t_{в.р} \quad (7.9)$$

де $t_{з.мин} = 0,01$ с – мінімальний час спрацювання релейного захисту;

$t_{в.р}$ – власний час розмикання контактів вимикача.

Якщо виконується умова (7.7) щодо симетричного струму відключення,

					Арк.
					65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

але умова (7.8) для аперіодичної складової не дотримується, тоді дозволяється виконати перевірку по повному струму короткого замикання за наступним співвідношенням:

$$(\sqrt{2} \cdot I_{н.г.} + i_{ат}) \leq (\sqrt{2} \cdot I_{відкл.ном} \cdot (1 + \beta_n)) \quad (7.10)$$

Додатково перевірка вимикача проводиться по вмикаючій здатності, що виконується за умовою:

$$i_y \leq i_{вмкн}; \quad I_{п.о.} \leq I_{вмкн} \quad (7.11)$$

де i_y – ударний струм короткого замикання в колі вимикача;

$I_{п.о.}$ – максимальне миттєве значення періодичної складової на момент початку короткого замикання;

$I_{вмкн}$ – номінальне значення струму включення, яке допускає вимикач;

$I_{вмкн}$ – пікове значення включеного струму.

На електродинамічну стійкість вимикач перевіряється по граничним наскрізним струмам к.з.:

$$I_{п.о.} \leq I_{гр.ск}; \quad i_y \leq I_{гр.ск} \quad (7.12)$$

Також проводиться оцінка електродинамічної стійкості вимикача, яка базується на аналізі граничного наскрізного струму короткого замикання. Цей параметр дозволяє визначити, чи здатна конструкція вимикача витримати механічні навантаження, викликані електродинамічними силами при КЗ:

$$B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \quad (7.13)$$

де B_k – тепловий імпульс струму короткого замикання;

$I_{тер}$ – струм, який визначає межу термічної витривалості;

$t_{тер}$ – тривалість проходження цього струму.

					Арк.
					66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

На стороні 10 кВ заплановано встановлення стандартних комірок типу КУ-10Ц ШВВ-10-20-1600УЗ, у які вбудовуються вакуумні вимикачі ВР-1-20/630УЗ.

$$I_{роб} = \frac{S_{Т.ЛР}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 58 \text{ А}$$

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I'' \left(1 + e^{-0.01/T_a}\right) = \sqrt{2} \cdot 5,7 \cdot \left(1 + e^{-0.01/T_a}\right) = 12,9 \text{ кА}$$

$$B_K = I''^2 (t_{сідкт} + T_a) = 5,7^2 (1,025 + 0,03) = 34,28 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

На основі наведених розрахунків і зіставлення з технічними характеристиками обраний вимикач ВР-1-20/630УЗ відповідає всім вимогам за напругою, струмом, термічною витривалістю та електродинамічною стійкістю, необхідним для безпечного функціонування ліній 10 кВ.

						Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8 ОПТИМІЗАЦІЯ ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

8.1. Вимоги до системи освітлення

Залежно від конкретних завдань та потреб у світлі, можуть враховуватись додаткові характеристики, зокрема:

– Потужність джерела світла — слід підібрати модель світильника, що сумісна з лампою відповідної потужності, яка забезпечить належний рівень освітлення в приміщенні.

– Ширина світлового променя — цей параметр визначає, наскільки широко розсіюється світло. Його варто підбирати з урахуванням умов використання, щоб досягти оптимального ефекту.

– Рівень захищеності — показує, наскільки добре пристрій захищений від проникнення пилу чи вологи. У залежності від місця встановлення, можуть висуватися певні вимоги до цього показника.

– Ефективність споживання енергії — суттєвий аспект, що впливає як на витрати електроенергії, так і на довготривалу економію. Використання моделей із підвищеною енергоефективністю допомагає скоротити енергоспоживання та забезпечити належне освітлення.

Зазвичай світильники мають потужність у межах 3–25 ват, а напруга живлення зазвичай варіюється від 12 до 24 вольт. Однак ці характеристики не відображають рівень яскравості чи ефективність освітлення загалом. Вони лише свідчать про енергоспоживання, але не гарантують високу якість або інтенсивність світлового потоку.

Обираючи світильник, варто зважати на кілька параметрів, які визначають якість світла:

- Світловий потік – позначається в люменах (lm) і показує, скільки світла випромінює пристрій. Чим більше це значення, тим сильніше буде освітлення.

						Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Діодні джерела світла забезпечують удесятеро більше світлового потоку на кожен спожитий ват порівняно з традиційними лампами розжарювання.

У таблиці 8.1 представлено дані про продуктивність світлодіодів.

Таблиця 8.1 - Ефективність діодів (в люменах):

Потужність	Величина світлопотоку
20 Вт	250 лм (мінімальна потужність споживання в 3 ваттах)
40 Вт	360 лм
60 Вт	700 лм
100 Вт	1 200 лм
150 Вт	1 800 лм
200 Вт	2 500 лм (максимальна потужність споживання в 30 ваттах)

Колірна температура, що позначається в Кельвінах (К), характеризує відтінок світіння світильника. Вона впливає на візуальне сприйняття простору, створюючи ту чи іншу атмосферу — від теплого й затишного до холодного й ділового.

Під час вибору освітлювального приладу важливо враховувати технічні характеристики, які впливають не лише на енергоефективність, а й на рівень яскравості та загальну якість освітлення.

Для підключення світлодіодних елементів до електромережі використовують драйвер — пристрій, що перетворює змінний струм на постійний, необхідний для стабільної роботи світильника. Такий спосіб під'єднання є типовим при використанні мережі змінного струму.

Існують також світлодіодні моделі, які працюють безпосередньо від постійного струму, зазвичай в межах 12–24 вольт. Вони зручні у випадках, коли живлення вже подається від джерела постійного струму — наприклад, у системах на основі сонячних панелей або в автомобільній електриці.

У виробничих та промислових середовищах доцільно застосовувати світильники, оснащені драйверами з підвищеним рівнем захисту від коливань напруги. Такий підхід дозволяє зберігати стабільність живлення світлодіодів навіть за умов перебоїв або різких змін у електромережі, що позитивно впливає на довговічність і надійність освітлення.

Правильний підбір обладнання з надійним драйвером і вбудованим захистом від перепадів напруги є запорукою стабільної роботи освітлювальної системи в складних умовах та дозволяє мінімізувати ризики, пов'язані з нестабільним електроживленням.

8.2. Рішення для зменшення енергоспоживання під час розробки систем освітлення на промислових об'єктах

Правильно спроектована система освітлення повинна передусім відповідати чинним стандартам для певного типу об'єкта, зокрема — вимогам щодо рівня освітленості, допустимих показників засліплення, стабільності світлового потоку, а також точності передавання кольорів.

Підбираючи джерело світла, слід надавати перевагу тому типу ламп, який забезпечує найвищу ефективність випромінювання відповідно до конкретних умов експлуатації та критеріїв якості.

Особливо важливо передбачати використання сучасних технологій енергоощадного освітлення під час створення нових об'єктів.

Загальна продуктивність системи значною мірою визначається раціональним розміщенням світильників, яке повинно враховувати як особливості планування, так і функціональні характеристики приміщення.

Світильники поділяються відповідно до своїх оптичних характеристик і особливостей конструкції. Під час їх вибору слід звертати увагу на будову, інтенсивність світлового потоку, характер його розподілу, рівень яскравості та енергоефективність. Якість освітлення у приміщенні значною мірою залежить від правильно підбраного типу світильника та його розташування

						Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

— зокрема, це впливає на рівномірність освітлення, розподіл світла по поверхнях, наявність або відсутність відблисків, а також чіткість та інтенсивність тіней у зоні роботи.

Загальна ефективність світильників, що забезпечують основне освітлення, визначається коефіцієнтом корисної дії світлового потоку. Цей показник виражає відношення світла, що потрапляє на робочу площину, до загального потоку, створюваного всіма світильниками. Його значення залежить від типу обладнання, властивостей поверхонь приміщення до відбиття світла та індексу приміщення — і визначається за спеціальними таблицями. Чим більш продуктивним є вибраний світильник і вищими є відбивні якості стін, стелі та підлоги (особливо при світлих тонах оздоблення), тим більшим буде цей коефіцієнт.

Грамотно підібраний світильник з урахуванням характеру розподілу світлового потоку дозволяє знизити споживання електроенергії. За умови використання моделей із найбільш підходящим світлорозподілом, енергозбереження може досягати 15–20% у приміщеннях із низькими стелями та 20–40% — у високих залах.

Наприклад, заміна звичайних люмінесцентних світильників з розсіювачами на дзеркальні конструкції дає можливість скоротити витрати електроенергії приблизно на 30%.

Сучасні освітлювальні прилади комплектуються пускорегулювальними пристроями — як електромагнітного типу з пониженими втратами, так і електронними (ЕПРА).

Покращення ефективності освітлення за рахунок підвищеної світловіддачі комплекту ламп у поєднанні з відповідним ПРА дозволяє скоротити енергоспоживання в таких межах:

- для електромагнітних ПРА з оптимізованими втратами — на 6–26%,
- для електронних моделей — на 14–55%.

					Арк.
					71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

У виробничих приміщеннях штучне освітлення може реалізовуватись за допомогою загальної системи або комбінованої, яка поєднує загальне та місцеве освітлення. Згідно з чинними нормативами, у зонах, де переважають візуальні завдання високої складності та точності (I–IV розряди), доцільним вважається застосування комбінованого підходу до освітлення.

Оптимальний вибір системи освітлення для виконання точних зорових робіт визначається галузевими регламентами. У цих нормах, як правило, зазначаються рекомендовані типи освітлювальних рішень для різних виробничих зон та конкретних робочих місць.

Витрати на облаштування локального освітлення суттєво залежать від того, наскільки щільно розміщені робочі місця в межах приміщення. Чим більша концентрація персоналу на одиницю площі, тим вищими стають відносні витрати на організацію локального світла. Тому ефективність такого рішення з економічної точки зору змінюється залежно від планування робочого простору.

У ситуаціях, коли в приміщенні розташовано небагато робочих точок, комбіноване освітлення вважається більш доцільним як з погляду енергоспоживання, так і за витратами. Це пояснюється тим, що висока освітленість забезпечується лише у зонах, де це справді необхідно, тоді як фонове освітлення може залишатися на нижчому рівні. Натомість при використанні лише загального освітлення доводиться досягати високої яскравості по всій площі, що значно підвищує енергетичні витрати.

Зі збільшенням кількості робочих місць економічна перевага комбінованої системи поступово втрачається. У певний момент обидві системи — загальна й комбінована — зрівнюються за витратами, а при ще більшій щільності організації робочих місць загальне освітлення виявляється навіть вигіднішим.

Вищенаведене можна проілюструвати відповідною графічною залежністю $W=f(S)$ (рис. 5.3)

						Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Аналіз показує, що при $S \leq S_{p.e}$ комбіноване освітлення енергетично не ефективне ($S_{p.e}$ – площа робочого місця, на якій системи загального та комбінованого освітлення є рівноеквівалентними), а при $S > S_{p.e}$ комбіноване освітлення є енергетично ефективним.

Цю залежність можна наочно подати у вигляді графіка W як функції від $W=f(S)$ (див. рис. 8.1).

Згідно з аналізом, коли площа, що припадає на одне робоче місце, не перевищує значення $S_{p.e}$, застосування комбінованої системи освітлення не дає енергетичної вигоди. Водночас при $S > S_{p.e}$, використання комбінованого варіанту стає доцільним з точки зору енергоспоживання.

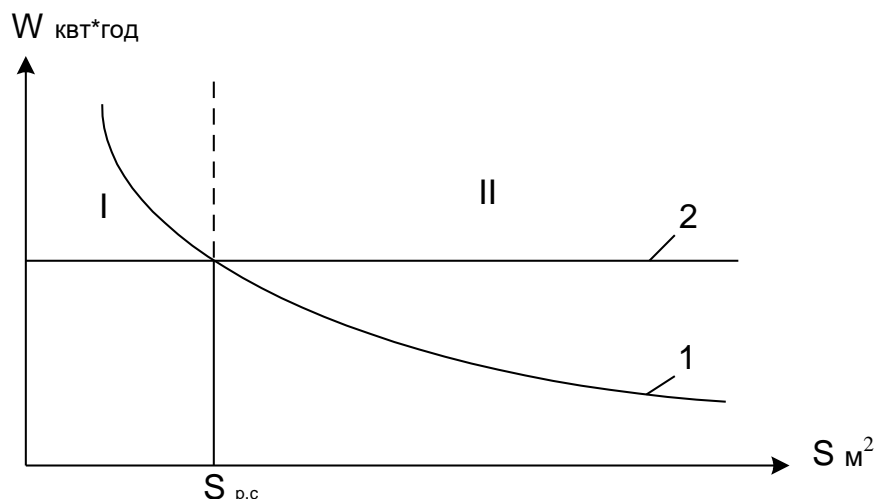


Рисунок 8.1 - Типова залежність енергетичних витрат від площі одного робочого місця для систем комбінованого (крива 1) та загального (крива 2) освітлення.

Рекомендації щодо вибору системи освітлення та оцінка її енергетичної доцільності наведені в таблиці 8.2.

						Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 8.2 - Сфери доцільного використання загального та комбінованого освітлення і потенціал зниження споживання електроенергії.

Розряд и зорової праці	Система освітлення		Величина економії електроенергії
	комбінована	загальна	
I,II а,б IIв, г	+ Рекомендується, якщо $S > 3$	- Рекомендується, якщо $S \leq 3$	-- до 60 %
III	Рекомендується, якщо $S > 5$	Рекомендується, якщо $S \leq 5$	до 15%
IVа, б	Рекомендується, якщо $S > 10$	Рекомендується, якщо $S \leq 10$	15-20%
IVв, г	-	+	--

Значна економія енергії, витраченої на освітлення, може бути досягнута завдяки максимальному використанню природного освітлення в поєднанні з автоматизованим керуванням штучним освітленням. Особливо важливим є врахування змін інтенсивності природного світла в приміщеннях, де його недостатньо, і де використовується система суміщеного освітлення. Під таким освітленням розуміється система, у якій дефіцит природного світла компенсується за рахунок штучного освітлення.

Сучасні автоматизовані системи управління освітленням дають змогу контролювати рівень природного освітлення та автоматично коригувати інтенсивність штучного освітлення, забезпечуючи відповідний рівень освітлення на робочих місцях.

8.3. Реалізація методу заміни джерела світла.

Реалізація методу заміни джерела світла полягає у переході від застарілих освітлювальних технологій до сучасних, більш ефективних рішень — зокрема, на базі світлодіодів (LED). Такий підхід дозволяє значно знизити енергоспоживання, покращити якість освітлення та зменшити витрати на обслуговування.

						Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Заміна традиційних ламп розжарювання або люмінесцентних джерел на світлодіодні аналоги передбачає не лише оновлення самих джерел світла, а й, за потреби, встановлення відповідного обладнання (драйверів, систем керування). Це дає змогу досягти стабільної роботи освітлення, підвищити надійність експлуатації та забезпечити відповідність сучасним вимогам енергоефективності.

Етапи впровадження методу заміни джерела світла

1. Аналіз наявної системи освітлення

На початковому етапі проводиться оцінка існуючого освітлення: тип використовуваних ламп, їх потужність, розміщення, рівень яскравості, стан обладнання та енергоспоживання. Це дозволяє виявити слабкі місця та визначити зони, де заміна буде найбільш ефективною.

2. Вибір сучасних джерел світла

Залежно від умов експлуатації (офіс, виробництво, вулиця, склад тощо), підбираються відповідні світлодіодні світильники з урахуванням світлового потоку, колірної температури, ступеня захисту та сумісності з наявними електромережами.

3. Розрахунок економічної доцільності

На цьому етапі оцінюється потенційна економія електроенергії, строки окупності інвестицій, зниження витрат на технічне обслуговування, а також прогнозується тривалість служби нових світильників.

4. Планування та підготовка до встановлення

Розробляється графік заміни, визначаються необхідні матеріали, інструменти, а також кваліфікований персонал, який виконуватиме монтажні роботи. При потребі готується документація для оновлення проекту освітлення.

5. Монтаж та підключення обладнання

Проводиться демонтаж старих джерел світла та встановлення нових світлодіодних світильників. Також здійснюється налаштування драйверів, систем керування або датчиків освітленості, якщо вони передбачені.

						Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Тестування та перевірка результатів

Після встановлення перевіряється робота освітлення: рівень яскравості, стабільність роботи, відповідність нормативам і вимогам. За потреби вносяться коригування.

7. Моніторинг ефективності

У подальшому ведеться спостереження за споживанням енергії, виявленням можливих збоїв і плануванням технічного обслуговування. Це дозволяє оцінити реальну ефективність проведених змін.

8.8.1. Вибір системи освітлення.

В процесі проектування освітлювальних систем для промислових приміщень використовуються дві основні моделі освітлення, які відрізняються між собою.

Перша модель — це система загального освітлення, яка створена для того, щоб освітити не лише робочі поверхні, але й усе приміщення. Тому світильники цієї системи зазвичай встановлюються на великій висоті під стелею, щоб рівномірно розподіляти світло по всій площі.

У рамках системи загального освітлення існують два основні методи розташування світильників: рівномірний та локалізований. У разі рівномірного освітлення відстань між світильниками та рядами зберігається однаковою по всьому приміщенню. У випадку локалізованого освітлення кожен світильник розміщується залежно від необхідності оптимального напрямку світла та мінімізації тіней на робочих місцях, що часто обумовлено розміщенням обладнання.

Рівномірне розміщення світильників загального освітлення зазвичай використовується, коли необхідно забезпечити однаковий рівень освітленості на всій площі приміщення. Якщо ж потрібно освітлити окремі великі ділянки або у випадках, коли встановлення місцевого освітлення неможливе, застосовують локалізоване розташування приладів.

						Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір локалізованого розміщення дозволяє не лише знизити загальну потужність освітлення в порівнянні з рівномірним розташуванням, а й покращити якість освітлення. Такий підхід дозволяє точно спрямувати світловий потік на робочі місця та ефективно усунути тіні від устаткування або працівника, що знаходиться поруч.

Друга система — комбіноване освітлення — включає як світильники, що встановлюються безпосередньо біля робочих місць і призначені для освітлення лише робочих поверхонь (місцеве освітлення), так і прилади загального освітлення, які забезпечують рівномірний розподіл яскравості та необхідну освітленість в проходах приміщення. Характерною рисою цієї системи є більші початкові витрати на обладнання порівняно із системою загального освітлення.

З точки зору зручності експлуатації, комбіноване освітлення має переваги перед загальним освітленням. Оскільки світильники для місцевого освітлення розташовані безпосередньо на робочих місцях, це значно полегшує їх очищення, заміну несправних ламп, а також дозволяє зручніше здійснювати нагляд і проводити ремонт освітлювальної установки. Крім того, місцеве освітлення можна вимикати на тих робочих місцях, де в даний момент не проводяться роботи, що дозволяє знизити витрати електроенергії та підвищує гнучкість у використанні освітлення.

Згідно з результатами аналізу, система комбінованого освітлення є оптимальним варіантом у таких ситуаціях:

1. Виробничі приміщення, де здійснюються точні зорові роботи (категорії I, II, III, IV), якщо тільки не виникають обмеження через технологічні або конструктивні причини для установки місцевого освітлення.
2. Приміщення з обладнанням, що створює сильні тіні на робочих поверхнях під час загального освітлення (наприклад, при роботі з пресами, штампами), а також на тих робочих місцях, де необхідно коригувати напрямок світла в процесі роботи.

						Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Приміщення з обладнанням, де робочі поверхні мають вертикальне або похиле розташування та потребують високих рівнів освітленості для ефективної роботи.

Система загального освітлення з рівномірним розміщенням світильників може бути рекомендована в таких випадках:

1. Виробничі приміщення з високою щільністю обладнання, якщо це обладнання не створює тіней на робочих поверхнях і не потребує коригування напрямку світла.

2. Приміщення, де на всій площі виконуються однотипні роботи, наприклад, крупно складальні цехи.

3. Приміщення, де не потрібно інтенсивне зорове навантаження (розряд V), а також для допоміжних, складських і прохідних приміщень.

Локалізоване розміщення світильників загального освітлення доцільно застосовувати в таких випадках:

1. У виробничих приміщеннях, де робочі місця розташовані групами, сконцентрованими на певних ділянках.

2. У приміщеннях, де на окремих ділянках виконуються роботи різної точності, що вимагають різних рівнів освітленості.

3. У виробничих приміщеннях з великими робочими поверхнями, що потребують високого рівня освітленості (наприклад, розмічальні плити, закрийні столи), або з громіздким обладнанням, яке створює тіні, де неможливо використовувати місцеве освітлення.

Загальне локалізоване освітлення, виконане лампами розжарювання, зазвичай рекомендується для робіт, що відносяться до IV розряду і нижче, тоді як для робіт до III розряду більш підходять люмінесцентні лампи.

З огляду на геометричні параметри виробничих приміщень та специфіку технологічного процесу на фабриці була обрана система загального освітлення, що відповідає цим вимогам.

						Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8.8.2. Розміщення освітлювальних приладів.

Існують два основні способи розміщення світильників загального освітлення: рівномірне та локалізоване.

При локалізованому розміщенні питання вибору місця для установки світильника має вирішуватися індивідуально для кожного конкретного випадку. Це вимагає глибокого розуміння специфіки виробничого процесу та конструктивних особливостей обладнання на даній ділянці.

Натомість, для рівномірного розміщення світильників загального освітлення існують певні загальні принципи, які повинні служити основою при прийнятті рішення.

Розподіл освітленості по освітлюваній площі залежить від форми кривої сили світла світильника, а також від відносної відстані між світильниками. Це відношення визначається як співвідношення відстані між світильниками до висоти їхнього підвісу над освітлюваною поверхнею.

Дослідження, що аналізують залежність розподілу освітленості від форми кривої сили світла та відносної відстані між світильниками, показують, що для кожної кривої сили світла існує оптимальна відстань між світильниками, яка забезпечує найкращу рівномірність освітлення. Збільшення відносної відстані між світильниками призводить до погіршення рівномірності освітлення.

Окрім відстані між світильниками, на рівномірність розподілу освітленості також впливає форма розташування світильників. Одними з найбільш поширених варіантів розміщення світильників загального освітлення є їхнє розташування по кутах прямокутника або по вершинах ромба (рис. 8.3).

Найвища рівномірність освітлення досягається при розміщенні світильників по кутах квадрата. У випадку розміщення по вершинах ромба, найбільша рівномірність відповідає варіанту, коли світильники розташовані по кутах рівностороннього трикутника.

						Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

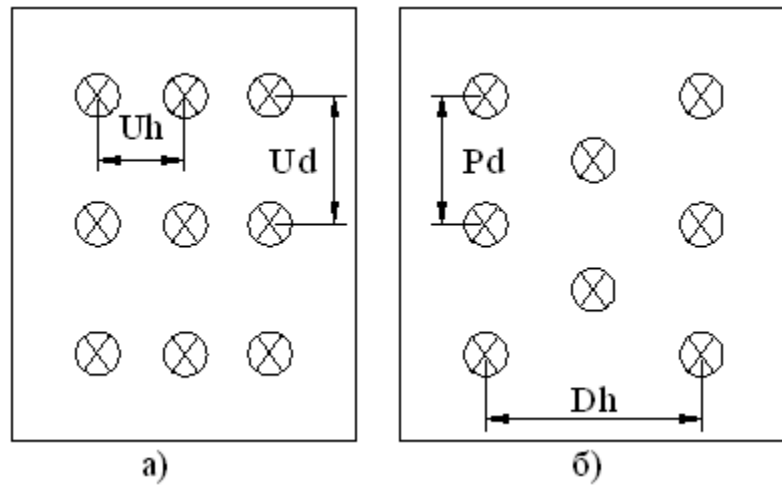


Рисунок 8.3 - Варіанти розміщення світильників загального розміщення: а - прямокутне; б - шахове.

З урахуванням специфіки технологічного процесу та геометричних розмірів виробничих приміщень фабрики, можна зробити висновок, що оптимальним буде розміщення світильників загального освітлення в одну лінію. Такий підхід дозволить досягти найбільш рівномірного розподілу освітленості в приміщенні.

8.8.3. Вибір типу світильника.

Одним із ключових аспектів при проектуванні освітлювальної системи є вибір типу світильника, оскільки це впливає не лише на економічність, але й на надійність роботи установки.

Невірний вибір світильника призводить до збільшення встановленої потужності, що в свою чергу підвищує витрати на експлуатацію системи освітлення.

Якщо конструкція світильника не відповідає умовам навколишнього середовища, це знижує надійність і тривалість його роботи. У деяких випадках це може стати причиною пожежі чи вибуху.

Процес вибору типу світильника здійснюється з урахуванням таких факторів:

					Арк.
					80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

1. вимог до розподілу світла;
2. умов експлуатації в конкретному середовищі;
3. обмеження сліпучої дії;
4. економічності всього освітлювального комплексу.

Світлорозподіл світильника є ключовою характеристикою, що визначає ефективність його використання в конкретних умовах освітлення.

У випадках, коли приміщення має стіни і стелі з низькими відбиваючими властивостями, наприклад у виробничих зонах із великими віконними отворами та перекриттями на стелі, рекомендовано використовувати світильники типів В, Ге, Гс, Гк. Ці типи світильників оптимально підходять для таких умов, забезпечуючи необхідну освітленість.

У таких умовах світильники прямого світла, які спрямовують світловий потік вниз, на робочі поверхні, забезпечують мінімальні втрати та максимальне використання світла. Зі збільшенням висоти приміщення і вимог до освітленості, світильники повинні мати більш концентрований світлорозподіл. Наприклад, при висоті приміщення 8 м і більше доцільно використовувати дзеркальні світильники (Гс, Гк) або дзеркальні лампи.

Світильники, які використовуються в даний час, повністю відповідають усім вимогам і не потребують заміни (табл. 8.3).

Таблиця 8.3 - Світильники які встановлені на дільницях.

Найменування дільниці	Тип світильника
Цех підготовки виробництва	<input type="checkbox"/> Світильник «Універсаль» без затемнювача
Складальний цех	<input type="checkbox"/> Світильник «Універсаль» без затемнювача
Ремонтно-механічний цех	<input type="checkbox"/> Світильник «Універсаль» без затемнювача
Цех контролю якості	<input type="checkbox"/> Світильник «Люцетта» цільний
Випробувальний цех	<input type="checkbox"/> Світильник «Люцетта» цільний
Електромонтажний цех	<input type="checkbox"/> Світильник «Люцетта» цільний
Склад готової продукції	<input type="checkbox"/> Світильник «Універсаль» із затемнювачем

8.8.4. Вибір джерела світла.

До основних джерел світла, що широко застосовуються у нашій промисловості, належать лампи розжарювання, люмінесцентні лампи та лампи ДРЛ.

Лампи ДРЛ, незважаючи на високу світлову віддачу та довгий термін служби, не забезпечують хорошу передачу кольору. Тому їх рекомендується використовувати для освітлення тих виробничих приміщень, де вимоги до точності передачі кольору не є критичними.

До таких приміщень можна віднести певні цехи металургійної та машинобудівної промисловості, зокрема ті, що мають велику висоту, у яких обслуговування світильників може бути складним. У таких випадках застосування світильників з лампами, що мають високий одиничний світловий потік і тривалий термін служби, є доцільним, оскільки це дозволяє значно знизити витрати на експлуатацію освітлювальної установки.

Згідно з генпланом підприємства та враховуючи особливості технологічного обладнання, на сьогодні для робочого освітлення використовуються лампи ДРЛ та лампи розжарювання.

При виборі джерела світла для освітлення виробничих приміщень необхідно здійснити аналіз переваг і недоліків ламп розжарювання та люмінесцентних ламп, а потім приймати рішення щодо доцільності застосування тих чи інших ламп.

В цьому розділі пропонується заміна поточних джерел світла — ламп ДРЛ та ламп розжарювання — на компактні світлодіодні лампи Євросвітло 20Вт 4200К А-20-4200-27, та Євросвітло 40Вт 4200К (VIS-40-E40/E27) в основних виробничих приміщеннях фабрики без потреби заміни самих світильників, які повністю відповідають вимогам виробництва та умовам праці.

						Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8.8.5. Розрахунок електричного освітлення.

Існує кілька основних методів розрахунку штучного освітлення:

- метод коефіцієнта використання світлового потоку;
- точковий метод;
- метод питомої потужності.

Для розрахунку освітлення закритих приміщень (виробничих і допоміжних приміщень фабрики) використовується метод коефіцієнта використання світлового потоку. Цей метод застосовується для обчислення освітленості в приміщеннях, де важливе значення має частина світлового потоку, що відбивається від освітлювальних поверхонь (стін, стелі). Він використовується лише для розрахунку загального освітлення, яке охоплює площу ділянок або освітлення за допомогою прожекторів.

Відношення світлового потоку Φ , який падає на розрахункову поверхню, до повного світлового потоку Φ_{Σ} (сумарного), що створюється всіма джерелами світла в приміщенні, називається коефіцієнтом використання освітлювальної установки:

$$\eta_y = \frac{\Phi}{\Phi_{\Sigma}}. \quad (8.1)$$

Коефіцієнт використання освітлювальної установки залежить від характеристик світильників, геометрії приміщення (площі) та його забарвлення. Геометричні розміри приміщення та висота підвісу світильників над освітлювальною поверхнею, позначена як h , враховується через величину, що називають показником приміщення:

$$i = \frac{A \cdot B}{h(A + B)}, \quad (8.2)$$

де A і B – значення ширини та довжини приміщення, м.

Для визначення коефіцієнта η_y використовуємо таблицю 8.4.

					Арк.
					83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Таблиця 8.4 - Визначення коефіцієнта η_y .

без затемнювача				із затемнювачем			цільна					Водопило- непроникна		
$\eta_{д}, \%$	30,0	50,0	70,0	30,0	50,0	70,0	30,0	50,0	50,0	70,0	70,0	30,0	30,0	50,0
$\eta_{с}, \%$	10,0	50,0	50,0	10,0	30,0	50,0	50,0	30,0	50,0	50,0	70,0	10,0	30,0	30,0
i	Коефіцієнт використання освітлювальної установки $\eta, \%$													
1,1	42,0	44,0	46,0	31,0	33,0	36,0	30,0	32,0	30,0	38,0	46,0	25,0	27,0	28,0
1,25	44,0	46,0	48,0	33,0	35,0	37,0	31,0	34,0	38,0	41,0	48,0	26,0	29,0	30,0
1,5	46,0	48,0	51,0	35,0	36,0	40,0	34,0	37,0	41,0	44,0	51,0	27,0	31,0	32,0
1,75	48,0	50,0	53,0	37,0	39,0	41,0	36,0	39,0	43,0	46,0	53,0	30,0	33,0	34,0
2,0	50,0	52,0	55,0	39,0	40,0	43,0	38,0	41,0	45,0	48,0	55,0	32,0	34,0	36,0
2,25	52,0	54,0	56,0	40,0	42,0	45,0	40,0	43,0	47,0	50,0	57,0	33,0	36,0	38,0
2,5	54,0	55,0	59,0	42,0	44,0	46,0	41,0	45,0	48,0	52,0	58,0	36,0	38,0	39,0
3,0	55,0	57,0	60,0	43,0	45,0	47,0	44,0	47,0	51,0	54,0	60,0	38,0	39,0	41,0
3,5	56,0	58,0	61,0	44,0	46,0	48,0	46,0	49,0	52,0	57,0	63,0	41,0	41,0	43,0
4,0	57,0	59,0	62,0	45,0	47,0	51,0	48,0	50,0	54,0	59,0	64,0	41,0	42,0	45,0

Загальний світловий потік світильника із урахуванням коефіцієнта запасу:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{k_z \cdot E_{\min} \cdot S}{z \cdot \eta}, \quad (8.3)$$

Переходячи від мінімальної освітленості до середньої, приймаємо:

$$E_{\text{ср}} = \frac{E_{\min}}{z}, \quad (8.4)$$

де z – величина поправки на мінімальну освітленість.

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{k_z \cdot E_{\text{ср}} \cdot S}{\eta}. \quad (8.5)$$

Щоб визначити середню освітленість за допомогою таблиці 8.4, потрібно врахувати такі параметри, як загальний світловий потік, площа освітлюваної поверхні та коефіцієнти, що відображають характеристики приміщення, такі як його геометрія, відбивальна здатність поверхонь і висота підвісу світильників.

						Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 8.5 - Приблизне значення коефіцієнтів відбиття стін та стелі.

Відбиваюча поверхня	Коефіцієнт відбиття, %
Стіни пофарбовані в білий колір, вікна закриті білими шторами, стеля теж побілена.	70
Стіни пофарбовані в білий колір, але вікна не закриті; стеля побілена у вологих приміщеннях, підлога з чистого бетону або світлої деревини.	50
Стеля з бетону в забруднених приміщеннях, дерев'яна стеля, стіни з бетону з вікнами.	30
Стіни та стеля вкриті великим шаром темного пілу.	10

Потрібна кількість світильників:

$$n_{\text{св}} = \frac{\Phi_{\Sigma}}{\Phi_{\text{л}}}, \quad (8.6)$$

де $\Phi_{\text{л}}$ – світловий потік прийнятого світильника.

Різниця між фактичним та розрахунковим світловим потоком:

$$\Delta\Phi = \frac{n_{\text{св}} \cdot \Phi_{\text{л}} - \Phi_{\Sigma}}{\Phi_{\Sigma}} \cdot 100\% < 20\%. \quad (8.7)$$

Коли світильники розташовуються на одній лінії, відстань між ними обчислюється за формулою:

$$L = \frac{B}{n_{\text{св}}}. \quad (8.8)$$

Сумарна потужність ламп визначається як сума потужностей усіх використовуваних ламп у системі освітлення:

$$P_{\Sigma} = n_{\text{св}} \cdot P_{\text{л}}, \quad (8.9)$$

де $P_{\text{л}}$ – потужність одного світильника.

Розрахуємо вибір світильників для кожної ділянки підприємства окремо:

1. *Цех підготовки виробництва:*

$$A = 18 \text{ м}; B = 300 \text{ м}; H = 6 \text{ м}; E_{\text{ср}} = 20 \text{ лк.}$$

					Арк.
					85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Відстань від підлоги до підвісу світильників становить 1 метр:

$$h = (H - 1) \cdot k, \quad (8.10)$$

де k – е коефіцієнт, який враховує співвідношення між висотою підвісу та відстанню від робочої поверхні до стелі.

$$k = \frac{5}{6} = 0,83; \quad (8.11)$$

$$h = (6 - 1) \cdot 0,83 = 4,17 \text{ м}; \quad (8.12)$$

$$i = \frac{18 \cdot 300}{4,17 \cdot (300 + 18)} = 4,07. \quad (8.13)$$

За робочими даними

$$\eta = 0,57, k_s = 1,3 .$$

Тоді загальний світловий потік:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{20 \cdot 5400 \cdot 1,3}{0,57} = 246315,78 \text{ лм}. \quad (8.14)$$

Вибираємо СДЛ потужністю $P_{\text{л}} = 40$ Вт з світловою віддачею 360 лм/Вт, тоді:

$$\Phi_{\text{л}} = 40 \cdot 360 = 14400 \text{ лм}; \quad (8.15)$$

$$n_{\text{св}} = \frac{246315,78}{14400} = 17,1; \quad (8.16)$$

Приймаємо $n_{\text{св}} = 18$ шт.

Знаходимо відхилення фактичного світлового потоку від розрахункового:

$$\Delta\Phi = \frac{18 \cdot 14400 - 246315,78}{246315,78} \cdot 100\% = 5,2\%; \quad (8.17)$$

$$5,2\% < 20\%.$$

Отже:

$$L = \frac{300}{18} = 16,7 \text{ м}. \quad (8.18)$$

$$P_{\Sigma} = 18 \cdot 40 = 720 \text{ Вт} = 0,7 \text{ кВт}. \quad (8.19)$$

						Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Складальний цех:

$$A = 25 \text{ м}; B = 300 \text{ м}; H = 20 \text{ м}; E_{\text{ср}} = 20 \text{ лк.}$$

$$k = \frac{19}{20} = 0,95; \quad (8.20)$$

$$h = (20 - 1) \cdot 0,95 = 18,05 \text{ м}; \quad (8.21)$$

$$i = \frac{25 \cdot 300}{18,05 \cdot (300 + 25)} = 1,28. \quad (8.22)$$

По проектним даним $\eta = 0,46$.

Тоді загальний світловий потік:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{20 \cdot 7500 \cdot 1,3}{0,46} = 423913,04 \text{ лм.} \quad (8.23)$$

Обираємо СДЛ потужністю $P_{\text{л}} = 40$ Вт з світловою віддачею 360 лм/Вт,
отже:

$$\Phi_{\text{л}} = 40 \cdot 360 = 14400 \text{ лм}; \quad (8.24)$$

$$n_{\text{св}} = \frac{423913,04}{14400} = 29,4; \quad (8.25)$$

Прийmemo $n_{\text{св}} = 30$ шт.

Невідповідність між виміряним і проектним світловим потоком:

$$\Delta\Phi = \frac{30 \cdot 14400 - 423913,04}{423913,04} \cdot 100\% = 1,9\%; \quad (8.26)$$

$$1,9\% < 20\%.$$

Отже:

$$L = \frac{300}{30} = 10 \text{ м.} \quad (8.27)$$

$$P_{\Sigma} = 30 \cdot 40 = 1200 \text{ Вт} = 1,2 \text{ кВт.} \quad (8.28)$$

3. Ремонтно-механічний цех:

$$A = 10 \text{ м}; B = 300 \text{ м}; H = 8 \text{ м}; E_{\text{ср}} = 20 \text{ лк.}$$

					Арк.
					87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

$$k = \frac{7}{8} = 0,875; \quad (8.29)$$

$$h = (8 - 1) \cdot 0,875 = 6,125 \text{ м}; \quad (8.30)$$

$$i = \frac{10 \cdot 300}{6,125 \cdot (300 + 10)} = 1,58. \quad (8.31)$$

За робочими даними $\eta = 0,48$.

Тоді загальний світловий потік:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{20 \cdot 3000 \cdot 1,3}{0,48} = 162500 \text{ лм}. \quad (8.32)$$

Обираємо СДЛ потужністю $P_{\text{л}} = 40$ Вт з світловою віддачею 360 лм/Вт, тоді:

$$\Phi_{\text{л}} = 40 \cdot 360 = 14400 \text{ лм}; \quad (8.33)$$

$$n_{\text{св}} = \frac{162500}{14400} = 11,28; \quad (8.34)$$

Прийmemo $n_{\text{св}} = 12$ шт.

Невідповідність між виміряним і проєктним світловим потоком:

$$\Delta\Phi = \frac{12 \cdot 14400 - 162500}{162500} \cdot 100\% = 6,3\%; \quad (8.35)$$

$$6,3\% < 20\%.$$

Отже:

$$L = \frac{300}{12} = 25 \text{ м}. \quad (8.36)$$

$$P_{\Sigma} = 12 \cdot 40 = 480 \text{ Вт} = 0,4 \text{ кВт}. \quad (8.37)$$

4. *Цех контролю якості:*

$A = 10 \text{ м}; B = 300 \text{ м}; H = 4 \text{ м}; E_{\text{ср}} = 30 \text{ лк}.$

$$k = \frac{3,5}{4} = 0,875; \quad (8.38)$$

						Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$h = (4 - 1) \cdot 0,875 = 2,63 \text{ м}; \quad (8.39)$$

$$i = \frac{10 \cdot 300}{2,63 \cdot (300 + 10)} = 3,68. \quad (8.40)$$

За робочими даними $\eta = 0,54$.

Тоді загальний світловий потік:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{30 \cdot 3000 \cdot 1,3}{0,54} = 216666,67 \text{ лм}. \quad (8.41)$$

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{30 \cdot 3000 \cdot 1,3}{0,54} = 216666,67 \text{ лм}. \quad (8.41)$$

Обираємо СДЛ потужністю $P_{\text{л}} = 40 \text{ Вт}$ з світловою віддачею 360 лм/Вт ,

отже:

$$\Phi_{\text{л}} = 40 \cdot 360 = 14400 \text{ лм}; \quad (8.42)$$

$$n_{\text{св}} = \frac{216666,67}{14400} = 15,04; \quad (8.43)$$

Прийmemo $n_{\text{св}} = 16 \text{ шт.}$

Невідповідність між виміряним і проєктним світловим потоком:

$$\Delta\Phi = \frac{16 \cdot 14400 - 216666,67}{216666,67} \cdot 100\% = 6,3\%; \quad (8.44)$$

$$6,3\% < 20\%.$$

Отже:

$$L = \frac{300}{16} = 18,75 \text{ м}. \quad (8.45)$$

$$P_{\Sigma} = 16 \cdot 40 = 640 \text{ Вт} = 0,64 \text{ кВт}. \quad (8.46)$$

5. Випробувальний цех:

$$A = 7 \text{ м}; B = 300 \text{ м}; H = 4 \text{ м}; E_{\text{ср}} = 20 \text{ лк.}$$

$$k = \frac{3,5}{4} = 0,875; \quad (8.47)$$

$$h = (4 - 1) \cdot 0,875 = 2,63 \text{ м}; \quad (8.48)$$

						Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$i = \frac{7 \cdot 300}{2,63 \cdot (300 + 7)} = 2,6. \quad (8.49)$$

За робочими даними $\eta = 0,51$.

Тоді загальний світловий потік:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{20 \cdot 2100 \cdot 1,3}{0,51} = 107058,82 \text{ лм}. \quad (8.50)$$

Обираємо СДЛ потужністю $P_{\text{л}} = 20$ Вт з світловою віддачею 250 лм/Вт, тоді:

$$\Phi_{\text{л}} = 20 \cdot 250 = 5000 \text{ лм}; \quad (8.51)$$

$$n_{\text{св}} = \frac{107058,82}{5000} = 21,41; \quad (8.52)$$

Прийmemo $n_{\text{св}} = 22$ шт.

Невідповідність між виміряним і проєктним світловим потоком:

$$\Delta\Phi = \frac{22 \cdot 5000 - 107058,82}{107058,82} \cdot 100\% = 2,7\%; \quad (8.53)$$

$$2,7\% < 20\%.$$

Отже:

$$L = \frac{300}{22} = 13,6 \text{ м}. \quad (8.54)$$

$$P_{\Sigma} = 22 \cdot 20 = 440 \text{ Вт} = 0,44 \text{ кВт}. \quad (8.55)$$

6. Електромонтажний цех:

$A = 20$ м; $B = 51$ м; $H = 10$ м; $E_{\text{ср}} = 25$ лк.

$$k = \frac{9}{10} = 0,9; \quad (8.56)$$

$$h = (10 - 1) \cdot 0,9 = 8,1 \text{ м}; \quad (8.57)$$

$$i = \frac{20 \cdot 51}{8,1 \cdot (20 + 51)} = 1,77. \quad (8.58)$$

						Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За робочими даними $\eta = 0,48$.

Отже:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{25 \cdot 1020 \cdot 1,3}{0,43} = 77093,02 \text{ лм.} \quad (8.59)$$

Обираємо СДЛ потужністю $P_{\text{л}} = 20$ Вт з світловою віддачею 250 лм/Вт, тоді:

$$\Phi_{\text{л}} = 20 \cdot 250 = 5000 \text{ лм;} \quad (8.60)$$

$$n_{\text{св}} = \frac{77093,02}{5000} = 15,4; \quad (8.61)$$

Прийmemo $n_{\text{св}} = 16$ шт.

Невідповідність між вимірним і проєктним світловим потоком:

$$\Delta\Phi = \frac{16 \cdot 5000 - 77093,02}{77093,02} \cdot 100\% = 3,8\%; \quad (8.62)$$

$$3,8\% < 20\%.$$

Отже:

$$L = \frac{51}{16} = 3,2 \text{ м.} \quad (8.63)$$

$$P_{\Sigma} = 16 \cdot 20 = 320 \text{ Вт} = 0,32 \text{ кВт.} \quad (8.64)$$

7. *Склад готової продукції:*

$$A = 2,5 \text{ м}; B = 300 \text{ м}; H = 35 \text{ м}; E_{\text{ср}} = 10 \text{ лк.}$$

$$k = \frac{3,3}{3,5} = 0,94; \quad (8.65)$$

$$h = (3,5 - 1) \cdot 0,94 = 2,36 \text{ м;} \quad (8.66)$$

$$i = \frac{2,5 \cdot 300}{2,36 \cdot (300 + 2,5)} = 1,06. \quad (8.67)$$

За робочими даними $\eta = 0,38$.

					Арк.
					91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Отже:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{10 \cdot 750 \cdot 1,3}{0,33} = 29545,45 \text{ лм.} \quad (8.68)$$

Обираємо СДЛ потужністю $P_{\text{л}} = 20$ Вт із світловою віддачею 250 лм/Вт, тоді:

$$\Phi_{\text{л}} = 20 \cdot 250 = 5000 \text{ лм;} \quad (8.69)$$

$$n_{\text{св}} = \frac{29545,45}{5000} = 5,9; \quad (8.70)$$

Прийmemo $n_{\text{св}} = 6$ шт.

Невідповідність між вимірним і проектним світловим потоком:

$$\Delta\Phi = \frac{6 \cdot 5000 - 29545,45}{29545,45} \cdot 100\% = 1,5\%; \quad (8.71)$$

$$1,5\% < 20\%.$$

Отже:

$$L = \frac{300}{6} = 50 \text{ м.} \quad (8.72)$$

$$P_{\Sigma} = 20 \cdot 6 = 120 \text{ Вт} = 0,12 \text{ кВт.} \quad (8.73)$$

Підготуємо порівняльну таблицю, яка містить основні характеристики джерел освітлення до впровадження змін та після оновлення.

						Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 8.6 - Порівняльна таблиця джерел світла до та після

оновлення.

Дільниця	Тип світильника		Світлова віддача, лм/Вт		Одинична потужність, Вт		Кількість, шт.		Сумарна потужність, кВт	
	До м-ції	Після оп-ції	До оп-ції	Після оп-ції	До оп-ції	Після оп-ції	До оп-ції	Після оп-ції	До оп-ції	Після оп-ції
Цех підготовки виробництва	ДРЛ	СДЛ	40	360	400	40	16	18	6,4	0,7
Складальний цех	ДРЛ	СДЛ	40	360	400	40	27	30	10,8	1,2
Ремонтно-механічний цех	ДРЛ	СДЛ	40	360	400	40	11	12	4,4	0,4
Цех контролю якості	ЛР	СДЛ	20	360	200	40	55	16	11	0,64
Випробувальний цех	ЛР	СДЛ	20	250	200	20	27	22	5,4	0,44
Електромонтажний цех	ДРЛ	СДЛ	40	250	400	20	5	16	2	0,32
Склад готової продукції	ЛР	СДЛ	15	250	100	20	20	6	2	0,12
Всього							161	120	<u>42</u>	<u>3,82</u>

У результаті оновлення систем освітлення на ключових ділянках підприємства, яке мало на меті впровадження одного з методів енергозбереження шляхом переходу на більш ефективні джерела світла, а саме – заміни ламп ДРЛ і розжарювання на потужні компактні світлодіодні аналоги, згідно з даними таблиці 8.5, досягнуто потенціал скорочення споживання електроенергії у понад десять разів без втрат у якості чи рівні освітлення.

						Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто проєкт електропостачання та енергозбереження для металообробного цеху «НВП «Радій».

Здійснено обчислення навантаження силових електроспоживачів на низьковольтних шинах напругою 0,4 кВ. У межах дослідження побудовано графіки змін електроспоживання — як активної, так і реактивної потужності — для зимового та літнього сезонів. Також подано річну характеристику навантажень за тривалістю споживання активної потужності.

Порівняння різних варіантів систем живлення дало змогу обрати найефективніше рішення — магістральну схему з використанням компенсуючих пристроїв на стороні низької напруги, сумарна реактивна потужність яких становить 550 кВАр.

Цех належить до споживачів другої категорії за надійністю електропостачання, що означає: у разі відключення електроенергії можливі збої в роботі обладнання, затримки виробничого процесу та зменшення обсягів продукції. У таких випадках дозволяється короткочасна зупинка на період переключення на резервне джерело.

Допускається живлення від одного трансформатора за умови, що тривалість перерви не перевищує доби. Запроектовано однострансформаторну підстанцію, яка забезпечує роботу підприємства в режимі двозмінної діяльності. Якщо ж під час знеструмлення спостерігатиметься недовипуск продукції, його можна надолужити, наприклад, через введення третьої зміни.

Живлення цеху організоване через розподільчі шинопроводи серії ШРА, які підключаються до головної магістралі типу ШМА. Виробниче приміщення класифіковане як категорія Д згідно з СН-101-84, з нормальною мікрокліматичною характеристикою та двозмінним робочим графіком.

У зонах рівномірного розташування електроприймачів встановлено шинопроводи типу ШРА-73. Вони приєднуються до основної магістралі ШМА-73 через кабельну вставку та автоматичний вимикач.

					Арк.
					94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Основний шинопровід прокладається вздовж колон під стелею (вище рівня пересування кран-балок) та фіксується кронштейнами. ШРА розташовані на висоті близько 1,8 метра від підлоги і також закріплені на колонах. Розподільча мережа виконана з дроту АПВ, прокладеного в металевих трубах через відгалужувальні коробки ШРА.

Було здійснено підбір кабельної продукції для ліній напругою 10 кВ, а також виконано розрахунок параметрів як розподільчих, так і магістральних шинопроводів та елементів освітлювальної мережі.

У спеціальному розділі кваліфікаційної роботи було запропоновано оновлення системи освітлення. Біля 13% всієї споживаної електроенергії на підприємстві припадає на освітлювальні установки. Аналіз показав: існує можливість істотно — більш ніж удвічі — зменшити енергоспоживання, не погіршуючи якість освітлення. Цього можна досягти завдяки оптимізації технічних засобів, модернізації існуючих рішень і впорядкованій експлуатації.

Раціональне використання світлових ресурсів за допомогою новітніх технологій у сфері освітлення сприяє зростанню продуктивності праці, покращенню якості виготовленої продукції, зниженню ризиків травмування працівників і позитивно впливає на збереження їхнього здоров'я.

						Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шкрабець, Ф. П. Основи електропостачання : навч. посіб. / Ф. П. Шкрабець, П. Г. Плешков. - Кіровоград : РВЛ КНТУ, 2010. - 408 с.

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

3. Кваліфікаційна робота бакалавра : метод. рекомендації до структури та оформлення випускної кваліфікаційної роботи для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня спец. 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / [уклад. : П. Г. Плешков, Н. Ю. Гарасьова, А. І. Котиш, О. І. Сіріков, О. А. Козловський] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2023. – 80 с.

4. Споживачі електричної енергії. Електричне освітлення : навч. посіб. / О. І. Соловей, А. В. Чернявський, О. О. Ситник, В. Ф. Ткаченко, Г. В. Курбака ; за ред. Солов'я О. І. ; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси : ФОП Гордієнко Є.І., 2018. – 132 с.

5. Електротехнічні системи електроспоживання / [Плешков П. Г., Зінзура В. В., Гарасьова Н. Ю., Котиш А. І., Величко Т. В., Плешков С. П.]; під редакцією Заслуженого працівника освіти України, кандидата технічних наук, професора Плешкова П. Г. – М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. –Кропивницький : ЦНТУ, 2021.– 209 с.

6. Енергетичний інжиніринг та менеджмент : в 3-х ч. Ч. 1. Проектування ефективних енергетичних систем / П.Г. Плешков, С.В. Серебренніков, О.І. Сіріков, І.В. Савеленко; під редакцією Заслуженого працівника освіти України, кандидата технічних наук, професора Плешкова П.Г. – М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2018.– 156 с.

						Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств : навч. посіб. / [Соловей О. І., Розен В. П., Плешков П.Г. та ін.] ; М-во освіти і науки України, Кіров. нац. техн. ун-т. – Кіровоград : КНТУ, 2015. – 287 с. ISBN 978-966-402-076-0

8. Збірник завдань та методичні вказівки до курсового проектування по курсу “Електротехнічні комплекси та системи електроспоживання” : для здобувачів освіти II рівня спец. 141 “Електротехнічні системи електроспоживання” / [уклад.: П. Г. Плешков, І. В. Савеленко, А. І. Котиш, Н. Ю. Гарасьова] ; М-во освіти і науки України ; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. електротехн. систем та енергетичного менеджменту. – Кропивницький: ЦНТУ, 2022. – 135 с.

9. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту „Електропостачання промислових підприємств (Електропостачання заводу). П.Г. Плешков, А.І. Котиш, А.Ю. Орлович. Кіровоград: КНТУ, 2004 р.

10. Терешкевич, Л. Б. Освітлення промислових споруд та житлових будинків : навчальний посібник [Електронний ресурс] / Л. Б. Терешкевич, О. В. Бабенко. – Вінниця : ВНТУ, 2022. – 123 с.

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

						Арк.
						97
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

Таблиця А1 — Опори ділянок шинопроводів ШМА і ШРА.

Тип обладнання	Sp, кВА	Ip, А	Марка шинопроводу	Параметри шинопроводу			Довжина L, км	Розрахункові дані, Ом		
				In	Ro	Xo		R _Σ	X _Σ	Z _Σ
ШМА1	731,95	1057,7	ШМА-73У3	1600	0,031	0,017	0,022	0,001	0,0004	0,0008
ШРА1	39,03	56,4	ШРА-73-250	250	0,210	0,100	0,082	0,017	0,0082	0,0191
ШРА2	288,17	416,4	ШРА-73-630	630	0,100	0,130	0,088	0,009	0,0114	0,0144
ШРА3	147,79	213,6	ШРА-73-250	250	0,210	0,100	0,1	0,021	0,0100	0,0233
ШРА4	444,20	641,9	ШРА-73-630	1000	0,100	0,130	0,105	0,011	0,0137	0,0172

Таблиця А2 — Значення втрат напруги в розподільчих шинопроводах.

Тип обладнання	Pr, кВА	Qp, кВА	Марка шинопроводу	L, км	ΔU, %
ШРА1	33,7	19,7	ШРА-73-250	0,082	3,040
ШРА2	263,0	117,7	ШРА-73-630	0,088	3,030
ШРА3	130,5	69,3	ШРА-73-250	0,100	2,500
ШРА4	315,3	312,9	ШРА-73-630	0,105	3,37
ШМА	727,2	31,58	ШМА-73У3	0,022	3,140

Таблиця А3 — Підбір перерізів кабелів у розподільчій мережі

Потужність споживача	Ip, А	F _{розр} , мм ²	F _{ст} , мм ²	n	I _{доп} , А	K _з *I _з	K _{пр} *I _{доп} п	F _{мін} , мм ³	ΔU _i , %
ШРА-1									
11	15,06	12,55	16	1	95	44	114	4	0,03
7x7,5	10,27	8,56	10	1	60	27,5	72	4	0,06
2x16,3	22,32	18,60	25	1	105	44	126	4	0,05
3x7,5	10,27	8,56	10	1	60	27,5	72	4	0,06
5x2,8	3,83	3,19	4	1	29	27,5	34,8	4	0,07
4,5	6,16	5,13	6	1	35	27,5	42	4	0,06
11	15,06	12,55	16	1	95	44	114	4	0,04
9,93	13,59	11,33	16	1	95	27,5	114	4	0,05
ШРА-2									
2x4,5	6,16	5,13	6	1	35	27,5	42	4	0,06

						Арк.
						98
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці А3

6x7,5	10,27	8,56	10	1	60	27,5	72	4	0,07
16,3	22,32	18,60	25	1	105	44	126	4	0,05
2x0,9	1,23	1,03	2,5	1	22	27,5	26,4	4	0,02
4,5	6,16	5,13	6	1	35	27,5	42	4	0,06
2x9,9	13,55	11,29	16	1	95	27,5	114	4	0,04
37,87	51,85	43,20	50	1	155	82,5	186	10	0,04
2x3	4,11	3,42	4	1	29	27,5	34,8	4	0,07
2x0,6	0,82	0,68	2,5	1	22	27,5	26,4	4	0,01
2x11	15,06	12,55	16	1	95	44	114	4	0,06
3x11	15,06	12,55	16	1	95	44	114	4	0,07
7x11	15,06	12,55	16	1	95	44	114	4	0,03
11	15,06	12,55	16	1	95	44	114	4	0,04
11	15,06	12,55	16	1	95	44	114	4	0,04
11	15,06	12,55	16	1	95	44	114	4	0,04
11	15,06	12,55	16	1	95	44	114	4	0,04
2,8	3,83	3,19	4	1	29	27,5	34,8	4	0,07
4,5	6,16	5,13	6	1	35	27,5	42	4	0,06
0,6	0,82	0,68	2,5	1	22	27,5	26,4	4	0,01
1	1,37	1,14	2,5	1	22	27,5	26,4	4	0,03
1,5	2,05	1,71	2,5	1	22	27,5	26,4	4	0,05
40	54,76	45,63	50	1	155	82,5	186	10	0,08
ШПА-3									
2x11	15,06	12,55	16	1	95	44	114	4	0,06
4x11	15,06	12,55	16	1	95	44	114	4	0,07
7x11	15,06	12,55	16	1	95	44	114	4	0,04
11	15,06	12,55	16	1	95	44	114	4	0,03
4,5	6,16	5,13	6	1	35	27,5	42	4	0,05
4x4,5	6,16	5,13	6	1	35	27,5	42	4	0,04
4,5	6,16	5,13	6	1	35	27,5	42	4	0,07
2x4,5	6,16	5,13	6	1	35	27,5	42	4	0,06
2,8	3,83	3,19	4	1	29	27,5	34,8	4	0,04
5	6,85	5,70	6	1	35	27,5	42	4	0,05
2x9,9	13,55	11,29	16	1	95	27,5	114	4	0,05
12	16,43	13,69	16	1	95	44	114	4	0,07
5x10	13,69	11,41	16	1	95	27,5	114	4	0,04
2x10	13,69	11,41	16	1	95	27,5	114	4	0,03
10	13,69	11,41	16	1	95	27,5	114	4	0,05
2x4,5	6,16	5,13	6	1	35	27,5	42	4	0,07

										Арк.
										99
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Продовження таблиці А3

2,8	3,83	3,19	4	1	29	27,5	34,8	4	0,03
3,42	4,68	3,90	4	1	29	27,5	34,8	4	0,05
2x8,7	11,91	9,93	10	1	60	27,5	72	4	0,06
8,7	11,91	9,93	10	1	60	27,5	72	4	0,04
8,7	11,91	9,93	10	1	60	27,5	72	4	0,07
9	12,32	10,27	16	1	95	27,5	114	4	0,04
2x9	12,32	10,27	16	1	95	27,5	114	4	0,03
9	12,32	10,27	16	1	95	27,5	114	4	0,05
9	12,32	10,27	16	1	95	27,5	114	4	0,04
2x20	27,38	22,82	25	1	105	69,3	126	6	0,05
20	27,38	22,82	25	1	105	69,3	126	6	0,08
5	6,85	5,70	6	1	35	27,5	42	4	0,04
9,9	13,55	11,29	6	2	35	27,5	84	2,5	0,08
38,18	52,27	43,56	25	2	105	82,5	252	2,5	0,10
7,5	10,27	8,56	6	2	35	27,5	84	2,5	0,06
ШПА-4									
9,9	13,55	11,29	6	2	35	27,5	84	2,5	0,08
10	13,69	11,41	6	2	35	27,5	84	2,5	0,08
10	13,69	11,41	6	2	35	27,5	84	2,5	0,11
10	13,69	11,41	6	2	35	27,5	84	2,5	0,08
10	13,69	11,41	6	2	35	27,5	84	2,5	0,11
10	13,69	11,41	6	2	35	27,5	84	2,5	0,13
10	13,69	11,41	6	2	35	27,5	84	2,5	0,16
2,8	3,83	3,19	2,5	2	22	27,5	52,8	2,5	0,07
4,5	6,16	5,13	4	2	29	27,5	69,6	2,5	0,05
4,5	6,16	5,13	4	2	29	27,5	69,6	2,5	0,07
8,7	11,91	9,93	6	2	35	27,5	84	2,5	0,14
8,7	11,91	9,93	6	2	35	27,5	84	2,5	0,11
8,7	11,91	9,93	6	2	35	27,5	84	2,5	0,14
8,7	11,91	9,93	6	2	35	27,5	84	2,5	0,07
9	12,32	10,27	6	2	35	27,5	84	2,5	0,14
9	12,32	10,27	6	2	35	27,5	84	2,5	0,07
7,5	10,27	8,56	6	2	35	27,5	84	2,5	0,08
10	13,69	11,41	6	2	35	27,5	84	2,5	0,16
7,5	10,27	8,56	6	2	35	27,5	84	2,5	0,06
7,5	10,27	8,56	6	2	35	27,5	84	2,5	0,12
7,5	10,27	8,56	6	2	35	27,5	84	2,5	0,06
3,42	4,68	3,90	2,5	2	22	27,5	52,8	2,5	0,11

										Арк.
										100
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Продовження таблиці А3

8,3	11,36	9,47	6	2	35	27,5	84	2,5	0,09
7,56	10,35	8,62	6	2	35	27,5	84	2,5	0,10
4	5,48	4,56	2,5	2	22	27,5	52,8	2,5	0,15
11	15,06	12,55	10	2	60	44	144	2,5	0,05
70	95,83	79,86	50	2	155	275	372	2,5	0,14
70	95,83	79,86	50	2	155	275	372	2,5	0,07
70	95,83	79,86	50	2	155	275	372	2,5	0,14
70	95,83	79,86	50	2	155	275	372	2,5	0,07
70	95,83	79,86	50	2	155	275	372	2,5	0,10
4,7	6,43	5,36	4	2	29	27,5	69,6	2,5	0,11
4,5	6,16	5,13	4	2	29	27,5	69,6	2,5	0,07
4,5	6,16	5,13	4	2	29	27,5	69,6	2,5	0,11
70	95,83	79,86	50	2	155	275	372	2,5	0,12
70	95,83	79,86	50	2	155	275	372	2,5	0,10
2x70	95,83	79,86	50	2	155	275	372	2,5	0,14
7,5	10,27	8,56	6	2	35	27,5	84	2,5	0,12
4,5	6,16	5,13	4	2	29	27,5	69,6	2,5	0,07
2,8	3,83	3,19	2,5	2	22	27,5	52,8	2,5	0,09
4,5	6,16	5,13	4	2	29	27,5	69,6	2,5	0,07
4,5	6,16	5,13	4	2	29	27,5	69,6	2,5	0,09
4,5	6,16	5,13	4	2	29	27,5	69,6	2,5	0,05
4,5	6,16	5,13	4	2	29	27,5	69,6	2,5	0,07
1,43	1,96	1,63	2,5	2	22	27,5	52,8	2,5	0,03
2,8	3,83	3,19	2,5	2	22	27,5	52,8	2,5	0,11

Таблиця А4. Результати обчислення струмів короткого замикання

Точка КЗ	параметри						
	R_{Σ} , МОм	X_{Σ} , МОм	Z_{Σ} , МОм	$I_{кз(3)}$, кА	K_y	$i_{уд}$	$I_{кз(1)}$, кА
К_ШРА-1	20,95	18,3	38,32	5,73	1,0	8,20	4,49
Кшра21	17,745	17,958	35,75	6,14	1,0	8,79	4,44
Кшра20	17,85	17,958	35,82	6,13	1,0	8,78	4,39
Кшра19	17,955	17,958	35,89	6,12	1,0	8,76	4,34
Кшра18	18,06	17,958	35,97	6,11	1,0	8,74	4,30
Кшра17	18,165	17,958	36,04	6,09	1,0	8,72	4,25
Кшра16	18,27	17,958	36,12	6,08	1,0	8,70	4,21
Кшра15	18,375	17,958	36,19	6,07	1,0	8,69	4,16

Продовження таблиці А4

Кшра14	18,48	17,958	36,27	6,06	1,0	8,67	4,12
Кшра13	18,585	17,958	36,34	6,04	1,0	8,65	4,08
Кшра12	18,69	17,958	36,42	6,03	1,0	8,63	4,04
Кшра11	18,795	17,958	36,50	6,02	1,0	8,61	4,00
Кшра10	18,9	17,958	36,57	6,01	1,0	8,60	3,96
Кшра9	19,005	17,958	36,65	5,99	1,0	8,58	3,92
Кшра8	19,11	17,958	36,72	5,98	1,0	8,56	3,88
Кшра7	19,215	18	36,83	5,96	1,0	8,54	4,40
Кшра6	19,32	17,958	36,88	5,96	1,0	8,52	4,35
Кшра5	19,425	17,958	36,95	5,94	1,0	8,51	4,31
Кшра4	19,53	17,958	37,03	5,93	1,0	8,49	4,26
Кшра3	19,635	17,958	37,11	5,92	1,0	8,47	4,21
Кшра2	19,74	17,958	37,19	5,91	1,0	8,45	4,17
Кшра1	19,845	17,958	37,26	5,89	1,0	8,44	4,13
К_ШРА2	12,2	11,8	27,47	8,00	1,0	11,44	4,49
Кшра41	6,895	11,458	23,87	9,20	1,0	13,17	4,44
Кшра40	7	11,458	23,93	9,18	1,0	13,14	4,39
Кшра39	7,105	11,458	23,98	9,16	1,0	13,11	4,34
Кшра38	7,21	11,458	24,04	9,14	1,0	13,08	4,30
Кшра37	7,315	11,458	24,09	9,12	1,0	13,05	4,25
Кшра36	7,42	11,458	24,15	9,10	1,0	13,02	4,21
Кшра35	7,525	11,458	24,21	9,07	1,0	12,99	4,16
Кшра34	7,63	11,458	24,27	9,05	1,0	12,95	4,12
Кшра33	7,735	11,458	24,32	9,03	1,0	12,92	4,08
Кшра32	7,84	11,458	24,38	9,01	1,0	12,89	4,04
Кшра31	7,945	11,458	24,44	8,99	1,0	12,86	4,00
Кшра30	8,05	11,458	24,50	8,96	1,0	12,83	3,96
Кшра29	8,155	11,458	24,56	8,94	1,0	12,80	3,92
Кшра28	8,26	11,458	24,62	8,92	1,0	12,77	3,88
Кшра27	8,365	11,5	24,72	8,89	1,0	12,72	4,40
Кшра26	8,47	11,458	24,75	8,88	1,0	12,70	4,35
Кшра25	8,575	11,458	24,81	8,85	1,0	12,67	4,31
Кшра24	8,68	11,458	24,87	8,83	1,0	12,64	4,26
Кшра23	8,785	11,458	24,94	8,81	1,0	12,61	4,21
Кшра22	8,89	11,458	25,00	8,79	1,0	12,57	4,17

						Арк.
						102
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці А4

Кшра21	8,995	11,458	25,07	8,76	1,0	12,54	4,13
Кшра20	8,98	11,45	14,55	15,09	1,0	21,60	4,09
Кшра19	8,97	11,44	14,54	15,11	1,0	21,62	4,04
Кшра18	8,96	11,43	14,52	15,12	1,0	21,65	4,00
Кшра17	8,95	11,42	14,51	15,14	1,0	21,67	3,96
Кшра16	8,94	11,41	14,49	15,16	1,0	21,69	3,93
Кшра15	8,93	11,40	14,48	15,17	1,0	21,71	3,89
Кшра14	8,92	11,38	14,46	15,19	1,0	21,73	3,85
Кшра13	8,91	11,37	14,45	15,20	1,0	21,76	3,81
Кшра12	14,9	11,4	18,75	11,71	1,0	16,76	3,78
Кшра11	20,4	11,4	23,37	9,40	1,0	13,45	3,74
Кшра10	25,4	11,4	27,84	7,89	1,0	11,29	3,71
Кшра9	29,9	11,4	32,00	6,86	1,0	9,82	3,67
Кшра8	33,9	11,4	35,77	6,14	1,0	8,79	3,64
Кшра7	37,4	11,4	39,10	5,62	1,0	8,04	3,61
Кшра6	40,4	11,4	41,98	5,23	1,0	7,49	3,57
Кшра5	42,9	11,4	44,39	4,95	1,0	7,08	3,54
Кшра4	44,9	11,4	46,33	4,74	1,0	6,79	3,51
Кшра3	46,4	11,4	47,78	4,60	1,0	6,58	3,48
Кшра2	47,4	11,4	48,76	4,51	1,0	6,45	3,45
Кшра1	47,9	11,4	49,24	4,46	1,0	6,38	3,42
К_ШРА3	24,18	20	41,88	5,24	1,0	7,51	4,49
Кшра55	21,4475	19,658	39,59	5,55	1,0	7,94	4,44
Кшра54	21,479	19,658	39,62	5,54	1,0	7,94	4,39
Кшра53	21,5105	19,658	39,64	5,54	1,0	7,93	4,34
Кшра52	21,542	19,658	39,66	5,54	1,0	7,93	4,30
Кшра51	21,5735	19,658	39,69	5,53	1,0	7,92	4,25
Кшра50	21,605	19,658	39,71	5,53	1,0	7,92	4,21
Кшра49	21,6365	19,658	39,73	5,53	1,0	7,91	4,16
Кшра48	21,668	19,658	39,76	5,52	1,0	7,91	4,12
Кшра47	21,6995	19,658	39,78	5,52	1,0	7,90	4,08
Кшра46	21,731	19,658	39,80	5,52	1,0	7,90	4,04
Кшра45	21,7625	19,658	39,83	5,52	1,0	7,89	4,00
Кшра44	21,794	19,658	39,85	5,51	1,0	7,89	3,96
Кшра43	21,8255	19,658	39,87	5,51	1,0	7,88	3,92

						Арк.
						103
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці А4

Кшра42	21,857	19,658	39,90	5,51	1,0	7,88	3,88
Кшра41	21,8885	19,7	39,95	5,50	1,0	7,87	4,40
Кшра40	21,92	19,658	39,94	5,50	1,0	7,87	4,35
Кшра39	21,9515	19,658	39,97	5,50	1,0	7,87	4,31
Кшра38	21,983	19,658	39,99	5,49	1,0	7,86	4,26
Кшра37	22,0145	19,658	40,01	5,49	1,0	7,86	4,21
Кшра36	22,046	19,658	40,04	5,49	1,0	7,85	4,17
Кшра35	22,0775	19,658	40,06	5,48	1,0	7,85	4,13
Кшра34	22,07	19,65	29,55	7,43	1,0	10,64	4,09
Кшра33	22,06	19,64	29,53	7,44	1,0	10,65	4,04
Кшра32	22,05	19,63	29,52	7,44	1,0	10,65	4,00
Кшра31	22,04	19,62	29,50	7,45	1,0	10,66	3,96
Кшра30	22,03	19,61	29,49	7,45	1,0	10,66	3,93
Кшра29	22,01	19,60	29,47	7,45	1,0	10,67	3,89
Кшра28	22,00	19,58	29,46	7,46	1,0	10,67	3,85
Кшра27	21,99	19,57	29,44	7,46	1,0	10,68	3,81
Кшра26	25,9	19,6	32,46	6,77	1,0	9,68	3,78
Кшра25	29,6	19,6	35,52	6,18	1,0	8,85	3,74
Кшра24	33,2	19,6	38,58	5,69	1,0	8,15	3,71
Кшра23	36,7	19,6	41,59	5,28	1,0	7,56	3,67
Кшра22	40,0	19,6	44,53	4,93	1,0	7,06	3,64
Кшра21	43,1	19,6	47,38	4,64	1,0	6,64	3,61
Кшра20	46,1	19,6	50,12	4,38	1,0	6,27	3,57
Кшра19	49,0	19,6	52,76	4,16	1,0	5,96	3,54
Кшра18	51,7	19,6	55,28	3,97	1,0	5,69	3,51
Кшра17	54,2	19,6	57,67	3,81	1,0	5,45	3,48
Кшра16	56,6	19,6	59,93	3,67	1,0	5,25	3,45
Кшра15	58,9	19,6	62,06	3,54	1,0	5,07	3,42
Кшра14	61,0	19,6	64,06	3,43	1,0	4,91	3,39
Кшра13	62,9	19,6	65,92	3,33	1,0	4,77	3,36
Кшра12	64,7	19,6	67,64	3,25	1,0	4,65	3,34
Кшра11	64,73	19,56	67,62	3,25	1,0	4,65	3,31
Кшра10	64,72	19,55	67,61	3,25	1,0	4,65	3,28
Кшра9	64,71	19,54	67,60	3,25	1,0	4,65	3,25
Кшра8	64,70	19,53	67,59	3,25	1,0	4,65	3,23

						Арк.
						104
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці А4

Кшра7	64,69	19,52	67,57	3,25	1,0	4,65	3,20
Кшра6	64,68	19,51	67,56	3,25	1,0	4,65	3,18
Кшра5	64,67	19,50	67,55	3,25	1,0	4,65	3,15
Кшра4	64,66	19,49	67,53	3,25	1,0	4,65	3,13
Кшра3	64,65	19,48	67,52	3,25	1,0	4,66	3,10
Кшра2	64,64	19,47	67,51	3,25	1,0	4,66	3,08
Кшра1	64,63	19,46	67,49	3,25	1,0	4,66	3,06
К_ШРА4	13,2	23	37,02	5,93	1,0	8,49	4,49
Кшра47	10,226	22,658	35,36	6,21	1,0	8,89	5,56
Кшра46	10,268	22,658	35,38	6,21	1,0	8,89	5,48
Кшра45	10,31	22,658	35,39	6,21	1,0	8,88	5,41
Кшра44	10,352	22,658	35,41	6,20	1,0	8,88	5,34
Кшра43	10,394	22,658	35,43	6,20	1,0	8,87	5,27
Кшра42	10,436	22,658	35,45	6,20	1,0	8,87	5,20
Кшра41	10,478	22,658	35,46	6,19	1,0	8,86	5,13
Кшра40	10,52	22,658	35,48	6,19	1,0	8,86	5,07
Кшра39	10,562	22,658	35,50	6,19	1,0	8,86	5,00
Кшра38	10,604	22,658	35,52	6,18	1,0	8,85	4,94
Кшра37	10,646	22,658	35,53	6,18	1,0	8,85	4,88
Кшра36	10,688	22,658	35,55	6,18	1,0	8,84	4,82
Кшра35	10,73	22,658	35,57	6,18	1,0	8,84	4,77
Кшра34	10,772	22,658	35,59	6,17	1,0	8,83	4,71
Кшра33	10,814	22,7	35,64	6,16	1,0	8,82	4,40
Кшра32	10,856	22,658	35,62	6,17	1,0	8,82	4,35
Кшра31	10,898	22,658	35,64	6,16	1,0	8,82	4,31
Кшра30	10,94	22,658	35,66	6,16	1,0	8,82	4,26
Кшра29	10,982	22,658	35,68	6,16	1,0	8,81	4,21
Кшра28	11,024	22,658	35,70	6,15	1,0	8,81	4,17
Кшра27	11,066	22,658	35,72	6,15	1,0	8,80	4,13
Кшра26	11,06	22,65	25,20	8,72	1,0	12,47	4,09
Кшра25	11,05	22,64	25,19	8,72	1,0	12,48	4,04
Кшра24	11,03	22,63	25,17	8,73	1,0	12,49	4,00
Кшра23	11,02	22,62	25,16	8,73	1,0	12,49	3,96
Кшра22	11,01	22,61	25,15	8,74	1,0	12,50	3,93
Кшра21	11,00	22,60	25,13	8,74	1,0	12,51	3,89
Кшра20	10,99	22,58	25,12	8,74	1,0	12,52	3,85

									Арк.
									105
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Продовження таблиці А4

Кшра19	10,98	22,57	25,10	8,75	1,0	12,52	3,81
Кшра18	14,6	22,6	26,87	8,17	1,0	11,70	3,78
Кшра17	18,0	22,6	28,86	7,61	1,0	10,89	3,74
Кшра16	21,2	22,6	30,96	7,10	1,0	10,16	3,71
Кшра15	24,2	22,6	33,08	6,64	1,0	9,50	3,67
Кшра14	27,0	22,6	35,18	6,24	1,0	8,94	3,64
Кшра13	29,6	22,6	37,21	5,90	1,0	8,45	3,61
Кшра12	32,0	22,6	39,15	5,61	1,0	8,03	3,57
Кшра11	34,2	22,6	40,96	5,36	1,0	7,67	3,54
Кшра10	36,2	22,6	42,65	5,15	1,0	7,37	3,51
Кшра9	38,0	22,6	44,18	4,97	1,0	7,11	3,48
Кшра8	39,6	22,6	45,57	4,82	1,0	6,90	3,45
Кшра7	41,0	22,6	46,79	4,69	1,0	6,72	3,42
Кшра6	42,2	22,6	47,84	4,59	1,0	6,57	3,39
Кшра5	43,2	22,6	48,73	4,51	1,0	6,45	3,36
Кшра4	44,0	22,6	49,44	4,44	1,0	6,36	3,34
Кшра3	43,97	22,56	49,42	4,44	1,0	6,36	3,31
Кшра2	43,96	22,55	49,41	4,45	1,0	6,36	3,28
Кшра1	43,95	22,54	49,39	4,45	1,0	6,36	3,25

Таблиця А5. Результати вибору автоматичних вимикачів для цехової електромережі

№ Ел спож	I_p, A	Тип автомата	$I_{ном.а}, A$	$I_{н.розм}, A$	$I_{у.тепл}, A$	$I_{у.розм}, A$	$I_{доп}, A$
1	56,4	A3730	160	200	250	312,5	200
2	56,4	A3730	160	200	250	312,5	200
3	56,4	A3730	160	200	250	312,5	200
4	7,15	A3720	15	20	25	31,25	20
5	6,8	A3720	15	20	25	31,25	20
6	6,85	A3720	15	20	25	31,25	20
7	106,48	A3730	160	200	250	312,5	200
8	106,48	A3730	160	200	250	312,5	200
9	106,48	A3730	160	200	250	312,5	200
10	106,48	A3730	160	200	250	312,5	200
11	6,85	A3720	15	20	25	31,25	20
12	6,85	A3720	15	20	25	31,25	20
13	4,26	A3720	15	20	25	31,25	20
14	6,85	A3720	15	20	25	31,25	20
15	6,85	A3720	15	20	25	31,25	20
16	6,85	A3720	15	20	25	31,25	20

							Арк.
							106
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Продовження таблиці А5

17	6,85	A3720	15	20	25	31,25	20
18	2,18	A3720	15	20	25	31,25	20
19	4,26	A3720	15	20	25	31,25	20
20	15,06	A3720	15	20	25	31,25	20
21	15,21	A3720	15	20	25	31,25	20
22	4,26	A3720	15	20	25	31,25	20
23	6,85	A3720	15	20	25	31,25	20
24	6,85	A3720	15	20	25	31,25	20
25	6,85	A3720	15	20	25	31,25	20
26	13,23	A3720	15	20	25	31,25	20
27	13,23	A3720	15	20	25	31,25	20
28	13,23	A3720	15	20	25	31,25	20
29	13,23	A3720	15	20	25	31,25	20
30	13,69	A3720	15	20	25	31,25	20
31	13,69	A3720	15	20	25	31,25	20
32	11,41	A3720	15	20	25	31,25	20
33	15,21	A3720	15	20	25	31,25	20
34	11,41	A3720	15	20	25	31,25	20
35	11,41	A3720	15	20	25	31,25	20
36	11,41	A3720	15	20	25	31,25	20
37	5,2	A3720	15	20	25	31,25	20
38	12,6	A3720	15	20	25	31,25	20
39	11,5	A3720	15	20	25	31,25	20
40	6,085	A3720	15	20	25	31,25	20
41	16,73	A3720	15	20	25	31,25	20
42	106,85	A3730	160	200	250	312,5	200
43	106,85	A3730	160	200	250	312,5	200
44	6,71	A3720	15	20	25	31,25	20
45	8,72	A3720	15	20	25	31,25	20
46	6,73	A3720	15	20	25	31,25	20
47	9,75	A3720	15	20	25	31,25	20
48	11,43	A3720	15	20	25	31,25	20
49	11,75	A3720	15	20	25	31,25	20
50	16,74	A3720	15	20	25	31,25	20
51	16,23	A3720	15	20	25	31,25	20
52	16,2	A3720	15	20	25	31,25	20
53	16,53	A3720	15	20	25	31,25	20
54	15,43	A3720	15	20	25	31,25	20
55	16,83	A3720	15	20	25	31,25	20
56	10,52	A3720	15	20	25	31,25	20
57	11,74	A3720	15	20	25	31,25	20
58	12,78	A3720	15	20	25	31,25	20
59	13,73	A3720	15	20	25	31,25	20
60	13,22	A3720	15	20	25	31,25	20
61	12,74	A3720	15	20	25	31,25	20
62	6,75	A3720	15	20	25	31,25	20
63	8,55	A3720	15	20	25	31,25	20
64	16,53	A3720	15	20	25	31,25	20
65	8,76	A3720	15	20	25	31,25	20

						Арк.
						107
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці А5

66	6,73	A3720	15	20	25	31,25	20
67	4,73	A3720	15	20	25	31,25	20
68	15,53	A3720	15	20	25	31,25	20
69	14,88	A3720	15	20	25	31,25	20
70	12,73	A3720	15	20	25	31,25	20
71	11,65	A3720	15	20	25	31,25	20
72	6,73	A3720	15	20	25	31,25	20
73	9,75	A3720	15	20	25	31,25	20
74	11,43	A3720	15	20	25	31,25	20
75	11,75	A3720	15	20	25	31,25	20
76	16,83	A3720	15	20	25	31,25	20
77	10,52	A3720	15	20	25	31,25	20
78	11,74	A3720	15	20	25	31,25	20
79	12,74	A3720	15	20	25	31,25	20
80	6,75	A3720	15	20	25	31,25	20
81	106,48	A3730	160	200	250	312,5	200
82	106,48	A3730	160	200	250	312,5	200
83	106,48	A3730	160	200	250	312,5	200
84	7,15	A3720	15	20	25	31,25	20
85	6,8	A3720	15	20	25	31,25	20
86	6,85	A3720	15	20	25	31,25	20
87	106,48	A3730	160	200	250	312,5	200
88	106,48	A3730	160	200	250	312,5	200
89	106,48	A3730	160	200	250	312,5	200
90	106,48	A3730	160	200	250	312,5	200
91	6,85	A3720	15	20	25	31,25	20
92	6,85	A3720	15	20	25	31,25	20
93	4,26	A3720	15	20	25	31,25	20
94	6,85	A3720	15	20	25	31,25	20
95	6,85	A3720	15	20	25	31,25	20
96	6,85	A3720	15	20	25	31,25	20
97	6,85	A3720	15	20	25	31,25	20
98	2,18	A3720	15	20	25	31,25	20
99	4,26	A3720	15	20	25	31,25	20
100	15,06	A3720	15	20	25	31,25	20
101	15,21	A3720	15	20	25	31,25	20
102	4,26	A3720	15	20	25	31,25	20
103	6,85	A3720	15	20	25	31,25	20
104	6,85	A3720	15	20	25	31,25	20
105	6,85	A3720	15	20	25	31,25	20
106	13,23	A3720	15	20	25	31,25	20
107	13,23	A3720	15	20	25	31,25	20
108	13,23	A3720	15	20	25	31,25	20
109	13,23	A3720	15	20	25	31,25	20
110	13,69	A3720	15	20	25	31,25	20
111	13,69	A3720	15	20	25	31,25	20
112	11,41	A3720	15	20	25	31,25	20

						Арк.
						108
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці А5

113	15,21	A3720	15	20	25	31,25	20
114	11,41	A3720	15	20	25	31,25	20
115	11,41	A3720	15	20	25	31,25	20
116	11,41	A3720	15	20	25	31,25	20
117	5,2	A3720	15	20	25	31,25	20
118	12,6	A3720	15	20	25	31,25	20
119	11,5	A3720	15	20	25	31,25	20
120	6,085	A3720	15	20	25	31,25	20
121	16,73	A3720	15	20	25	31,25	20
122	106,85	A3730	160	200	250	312,5	200
123	106,85	A3730	160	200	250	312,5	200
124	6,71	A3720	15	20	25	31,25	20
125	8,72	A3720	15	20	25	31,25	20
126	6,73	A3720	15	20	25	31,25	20
127	9,75	A3720	15	20	25	31,25	20
128	11,43	A3720	15	20	25	31,25	20
129	11,75	A3720	15	20	25	31,25	20
130	16,74	A3720	15	20	25	31,25	20
131	16,23	A3720	15	20	25	31,25	20
132	16,2	A3720	15	20	25	31,25	20
133	16,53	A3720	15	20	25	31,25	20
134	15,43	A3720	15	20	25	31,25	20
135	16,83	A3720	15	20	25	31,25	20
136	10,52	A3720	15	20	25	31,25	20
137	11,74	A3720	15	20	25	31,25	20
138	12,78	A3720	15	20	25	31,25	20
139	13,73	A3720	15	20	25	31,25	20
140	13,22	A3720	15	20	25	31,25	20
141	12,74	A3720	15	20	25	31,25	20
142	6,75	A3720	15	20	25	31,25	20
143	8,55	A3720	15	20	25	31,25	20
144	16,53	A3720	15	20	25	31,25	20
145	8,76	A3720	15	20	25	31,25	20
146	6,73	A3720	15	20	25	31,25	20
147	4,73	A3720	15	20	25	31,25	20
148	15,53	A3720	15	20	25	31,25	20
149	14,88	A3720	15	20	25	31,25	20
150	12,73	A3720	15	20	25	31,25	20
151	11,65	A3720	15	20	25	31,25	20
152	6,73	A3720	15	20	25	31,25	20
153	9,75	A3720	15	20	25	31,25	20
154	11,43	A3720	15	20	25	31,25	20
155	11,75	A3720	15	20	25	31,25	20
156	16,83	A3720	15	20	25	31,25	20
157	10,52	A3720	15	20	25	31,25	20
158	11,74	A3720	15	20	25	31,25	20
159	12,74	A3720	15	20	25	31,25	20
160	6,75	A3720	15	20	25	31,25	20

									Арк.
									109
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Таблиця А6 - Параметри освітлювальної мережі

Номер дільниці мережі	Момент, кВт·м	Розрахунковий переріз, мм ²	Стандартний переріз, мм ²	Втрата напруги, %
1-2	588	24,25	25	0,43
2-3	465	13,7	16	4,57
2-4	391	11,01	16	4,57
2-5	362	9,1	10	4,57
2-6	334	8,3	10	4,57
2-7	362	9,1	10	4,57
2-8	391	11,01	16	4,57
2-9	465	13,7	16	4,57

Таблиця А7 - Характеристика освітлювального щитка

Тип щитка	Тип автомата на вводі	Ін, А	Кількість відходячих ліній	Розташування	Розміри, мм
ЩОГ-6/І	A3710	100,0	6	Настінне	500x410

Таблиця А8 - Вибір параметрів силової мережі

№ КЛ	Sp, кВА	n	Ip,	Fек, мм ²	Fст, мм ²	Марка кабеля	Ідоп, А	Кз
СП1	21,3	1	32,394	27,00	35	АПВГ(4x35)	115	0,282
СП2	33,0	1	50,238	41,86	50	АПВГ(4x50)	140	0,359
СП3	10,7	1	16,345	13,62	25	АПВГ(4x25)	90	0,182
СП4	25,7	1	39,117	32,60	35	АПВГ(4x35)	115	0,34
СП5	30,6	1	46,537	38,78	50	АПВГ(4x50)	140	0,332
СП6	33,2	1	50,435	42,03	50	АПВГ(4x50)	140	0,36
СП7	36,7	1	55,848	46,54	50	АПВГ(4x50)	140	0,399
СП8	19,4	1	29,446	24,54	25	АПВГ(4x25)	90	0,327

						Арк.
						110
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці А8

№ КЛ	Sp, кВА	n	Ip,	Fек, мм ²	Fст, мм ²	Марка кабеля	Ідоп, А	Кз
СП9	8,2	1	12,505	10,42	16	АПВГ(4x16)	55	0,227
СП10	51,9	1	78,895	65,75	70	АПВГ(4x70)	165	0,478
СП11	19,7	1	29,979	24,98	35	АПВГ(4x25)	90	0,261
СП12	21,51	1	32,722	27,27	35	АПВГ(4x35)	115	0,285
СП13	12,2	1	18,586	15,49	16	АПВГ(4x16)	55	0,338
СП14	181,3	2	137,86	114,88	120	АПВГ(4x120)	240	0,287
СП15	31,1	3	15,744	13,12	16	АПВГ(4x16)	55	0,286
СП16	26,3	4	10	8,33	10	АПВГ(4x10)	38	0,263
СП17	20,4	5	6,201	5,17	6	АПВГ(4x6)	26	0,239
СП18	274,8	6	69,673	58,06	70	АПВГ(4x70)	165	0,07
СП19	26,3	7	5,7153	4,76	6	АПВГ(4x6)	26	0,22

Таблиця А9 - Розрахунок втрат електроенергії в мережі

№ КЛ	Sp, кВА	n	Ip,	Кз	l,км	ΔРл, кВт	ΔЕл кВт·год	Со, грн/кВт	С _{втр} , Т. грн
СП1	21,3	1	32,4	0,3	0,032	0,10	183,52	0,42	0,514
СП2	33,0	1	50,2	0,4	0,045	0,24	462,89	0,42	1,22
СП3	10,7	1	16,3	0,2	0,07	0,06	109,78	0,42	0,321
СП4	25,7	1	39,1	0,3	0,085	0,37	710,81	0,42	1,93
СП5	30,6	1	46,5	0,3	0,09	0,42	794,40	0,42	2,23
СП6	33,2	1	50,4	0,4	0,018	0,10	186,61	0,42	0,514
СП7	36,7	1	55,8	0,4	0,032	0,21	406,79	0,42	1,092
СП8	19,4	1	29,4	0,3	0,05	0,13	254,50	0,42	0,707
СП9	8,2	1	12,5	0,2	0,052	0,01	15,34	0,42	0,06
СП10	51,9	1	78,9	0,5	0,062	0,65	1240,20	0,42	3,343
СП11	19,7	1	30,0	0,3	0,04	0,10	196,46	0,42	0,514
СП12	21,5	1	32,7	0,3	0,03	0,09	175,55	0,42	0,450
СП13	12,2	1	18,6	0,3	0,01	0,00	6,52	0,42	0,000

									Арк.
									111
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Продовження таблиці А9

СП14	181,3	2	137,9	0,3	0,06	0,49	941,33	0,42	2,507
СП15	31,1	3	15,7	0,3	0,07	0,05	98,19	0,42	0,257
СП16	26,3	4	10,0	0,3	0,08	0,04	84,30	0,42	0,257
СП17	20,4	5	6,2	0,2	0,085	0,05	91,96	0,42	0,257
СП18	274,8	6	69,7	0,1	0,095	0,13	247,01	0,42	0,643
СП19	26,3	7	5,7	0,2	0,095	0,10	183,35	0,42	0,514
Всього							4743,36		17,331

Таблиця А10 - Оцінка капіталовкладень за кожним варіантом

№ вар.	Найменування елемента схеми	Одиниця	Кіль- кість	Вартість одиниці, тис.грн	Вартість всього, тис.грн
I	ШМА-73УЗ	шт.	8x3	5,2	15,6
	Розподільчі шинопроводи				
	ШРА-73-250	шт.	30x3	2,4	72
	ШРА-73-630		30*3	2,6	78
	ШРА-73-250		34*3	2,4	81,6
	ШРА-73-630		36*3	2,6	93,6
	Всього				
II	Силові пункти ПР-9332	шт.	19	18,3	347,7
	Кабельна лінія:				
	АПВГ (4x120)	км	0,06	336,5	20,2
	АПВГ (4x70)		0,157	202	31,7
	АПВГ (4x50)		0,185	160	29,6
	АПВГ (4x35)		0,187	122	22,8
	АПВГ (4x25)		0,12	96,3	11,6
	АПВГ (4x16)		0,132	64,36	8,5
	АПВГ (4x10)		0,08	43,94	3,5
	АПВГ (4x6)		0,18	26,96	4,9
	Всього				480,4

						Арк.
						112
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця А11 - Аналіз експлуатаційних витрат для кожного варіанта

№	Найменування елемента схеми	К _ј , тис. грн.	Р _{ај} , %	С _{ај} , тис. грн.	Р _{еј} , %	С _{еј} , тис. грн.	С _ј , тис. грн.
I	Шинопроводи	15,6	5	0,78	5	0,78	1,56
	Шинопроводи ШРА	325,2	5	16,26	5	16,26	32,52
	Всього						34,08
II	Силові пункти ПР-9332	347,7	15	52,16	5	17,39	69,54
	Кабельні лінії	132,8	5	6,64	5	6,64	13,28
	Всього						82,82

Таблиця А12 - Порівняльні поточні витрати для обох запропонованих варіантів електропостачання споживачів цеху

Показники	Варіант	
	1	2
Обсяг капітальних інвестицій	480,4	325,2
Поточні витрати	82,82	34,08
Вартість втрат електроенергії	17,33	11,8
Загальні приведені витрати	69,6	44,53
Відносна частка витрат, %	156,3%	100%

ДОДАТОК Б

Таблиця Б1 - Вибір кабелів.

Живлення	S_p , кВа	I_p , А	$I_{ав}$, А	$F_{ек}$, мм ²	F_{min} , мм ²	$I_{доп}$, А	Марка кабелю
ГПП–ТП	729,89	42,2	52,74	30,35	185	310	ААШВ-10 (3x185)

Таблиця Б2 - Вибір вимикача 10 кВ ліній, що відходять до ТП.

Параметри мережі	Умови вибору	Параметри вимикача
10 кВ	$U_{вст} \leq U_n$	10 кВ
42,2 А	$I_{роо} \leq I_n$	630 А
5,7 кА	$I'' \leq I_{дин.с}$	20 кА
15,4 кА	$i_y \leq 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot i_{дин.с}$	50,9 кА
5,7 кА	$I_{нт} \leq I_{н.отк}$	20 кА
12,25 кА	$\sqrt{2} \cdot I_{нт} + i_{ат} \leq \sqrt{2} \cdot I_{відкл} \cdot (1 + B_k)$	40 кА
34,28 кА ² ·с	$B_k \leq I_{нс}^2 \cdot t_{Т.С}$	1600 кА ² ·с

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		114