

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”

Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ

к.т.н., професор

_____ Петро ПЛЄШКОВ

“ ____ ” _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ

ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

«Розробка системи електропостачання швейної фабрики з дослідженням енергоефективних режимів роботи освітлювальних установок»

Виконала здобувачка вищої освіти

IV курсу, групи ЕЕ-22,

ОПП «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

спеціальності 141 «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

_____ Катерина НЕБЕСНА

« ____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи

доцент, канд.техн.наук

_____ Наталія ГАРАСЬОВА

« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент _____

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри ЕТС та ЕМ

_____Петро ПЛІШКОВ

«_____» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Небесної Катерини Вадимівни

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Розробка системи електропостачання швейної фабрики з дослідженням енергоефективних режимів роботи освітлювальних установок

Development of a power supply system for a sewing factory with a study of energy-efficient operating modes of lighting installations

2. Керівник роботи Гарасьова Наталія Юріївна, к.т.н., доцент

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

3. Строк подання роботи до захисту 03.06.2026 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи розрахунок електричних навантажень; побудова графіків та картограми електричних навантажень; вибір напруги і електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання; розрахунок режимів реактивної потужності; вибір трансформаторів; розрахунок струмів коротких замикань, вибір обладнання та силових мереж; розрахунок спеціального розділу кваліфікаційної роботи

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Спеціальний розділ</i>	<i>доцент Н.Ю. Гарасьова</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ. Коротка характеристика фабрики</i>	<i>13.04-15.04</i>	
2	<i>Розрахунок електричних навантажень</i>	<i>16.04-23.04</i>	
3	<i>Побудова графіків електричних навантажень</i>	<i>24.04-26.04</i>	
4	<i>Побудова картограми електричних навантажень</i>	<i>27.04-01.05</i>	
5	<i>Вибір напруги і електричних схем</i>	<i>02.05-5.05</i>	
6	<i>Режими реактивної потужності</i>	<i>6.05-9.05</i>	
7	<i>Вибір трансформаторів</i>	<i>10.05-13.05</i>	
8	<i>Розрахунок струмів КЗ, вибір обладнання та силових мереж системи електропостачання</i>	<i>14.05-17.05</i>	
9	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>18.05-28.05</i>	
10	<i>Оформлення презентаційної частини КР</i>	<i>29.05-30.05</i>	
11	<i>Оформлення пояснювальної записки КР</i>	<i>01.06-03.06</i>	

Дата видачі завдання
«__13__» _квітня_2026 р.

Підпис керівника _____

Наталія ГАРАСЬОВА

Завдання прийнято до виконання
«__13__» _квітня_2026 р.

Підпис здобувача _____

Катерина НЕБЕСНА

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 93 с. основної частини; 14 рис.; 27 табл.; 23 джерела, 1 додаток

Небесна К.В. Розробка системи електропостачання швейної фабрики з дослідженням енергоефективних режимів роботи освітлювальних установок. – Рукопис.

Бакалаврська робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПІ «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2026 рік.

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання проектування надійної та енергоефективної системи електропостачання швейної фабрики. Охарактеризовано технологічний процес підприємства, подано вихідні дані до проектування, на основі яких здійснено комплексні розрахунки електричних навантажень.

У роботі проведено детальний аналіз освітлювальних та силових електричних навантажень, побудовано добові графіки споживання електроенергії, а також розроблено картограму навантажень. Визначено оптимальні координати для розміщення центрального розподільного пункту і цехових трансформаторних підстанцій.

Обґрунтовано вибір напруги та конфігурацію електричних схем зовнішнього і внутрішнього електропостачання підприємства. Складено баланс реактивної потужності та обрано пристрої для її компенсації на стороні 10 кВ та 0,4 кВ. Здійснено вибір кількості, потужності та типу цехових трансформаторних підстанцій. Проведено розрахунки струмів короткого замикання, на основі яких обрано та перевірено високовольтне обладнання, кабельні лінії, вимірювальні трансформатори струму та напруги, а також апарати комерційного й технічного обліку.

Спеціальна частина роботи присвячена дослідженню та розробці енергоефективної автоматизованої системи освітлення швейного цеху. Проаналізовано ергономічні вимоги до зорової роботи на текстильному виробництві, виконано світлотехнічні та електричні розрахунки загального рівномірного освітлення. Розроблено енергоефективні режими роботи з розподілом світильників на автоматизовані групи керування, а також оцінено показники економії електроенергії від впровадження запропонованих рішень.

Ключові слова: система електропостачання, електричні навантаження, енергоефективне освітлення, автоматизація освітлювальних установок.

ABSTRACT

Qualification work: 93 p. main part; Fig. 14; 27 tables; 23 sources, 1 applications

Nebesna K.V. Development of a power supply system for a sewing factory with a study of energy-efficient operating modes of lighting installations. – Manuscript.

Bachelor's thesis on specialty 141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics", OPP "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics". - Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2026.

The qualification work addresses the design of a reliable and energy-efficient power supply system for a sewing factory. The technological process of the enterprise is characterized, and initial design data are provided, serving as the basis for comprehensive electrical load calculations.

The work includes a detailed analysis of lighting and power electrical loads in networks, the construction of daily power consumption graphs, and the development of a load map. The optimal coordinates for the placement of the central distribution point and transformer substations are determined.

The choice of voltage levels and the configuration of external and internal power supply schemes for the enterprise are justified. The reactive power balance is calculated, and compensation devices are selected for the 10 kV and 0.4 kV sides. The number, capacity, and type of shop transformer substations are determined. Short-circuit current calculations are performed, providing the basis for the selection and verification of high-voltage equipment, cable lines, measuring current and voltage transformers, as well as commercial and technical metering devices.

A specific section of the work is dedicated to the research and development of an energy-efficient automated lighting system for a sewing workshop. Ergonomic requirements for visual tasks in textile production are analyzed, and lighting and electrical calculations for general uniform illumination are performed. Energy-efficient operating modes with the distribution of luminaires into automated control groups are developed, and energy savings resulting from the implementation of the proposed solutions are evaluated.

Keywords: power supply system, electrical loads, energy-efficient lighting, automation of lighting installations.

З М І С Т

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	8
ВСТУП. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ШВЕЙНОЇ ФАБРИКИ ТА ДАННІ ДО ПРОЕКТУВАННЯ.....	9
1. ЕЛЕКТРИЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ ШВЕЙНОЇ ФАБРИКИ.....	12
1.1 Розрахунок освітлювальних навантажень швейної фабрики.....	12
1.2 Розрахунок електричних навантажень швейної фабрики в мережах до 1 кВ.....	14
1.3 Електричні навантаження швейної фабрики в мережах вище 1 кВ.....	18
1.4 Графіки електричних навантажень швейної фабрики.....	25
2. КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ШВЕЙНОЇ ФАБРИКИ ТА ВИБІР МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ЦРП ТА ТП.....	32
3. ВИБІР НАПРУГИ ЖИВЛЕННЯ ШВЕЙНОЇ ФАБРИКИ ТА СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.	35
4. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ШВЕЙНОЇ ФАБРИКИ.....	43
4.1 Баланс реактивної потужності швейної фабрики та вибір компенсуючих пристроїв.....	43
4.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв 0,4 кВ.....	46
5. ТРАНСФОРМАТОРНІ ПІДСТАНЦІЇ ШВЕЙНОЇ ФАБРИКИ.....	48
5.1 Вибір кількості, потужності та місця розташування цехових підстанцій швейної фабрики.....	48
5.2 Обґрунтування вибору типу та компонування цехових підстанцій.....	50

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат				
Розробив	Небесна К..				Розробка системи електропостачання швейної фабрики з дослідженням енергоефективних режимів роботи освітлювальних установок	Літ.	Арк.	Аркуші
Перевірів	Гарасьова Н.						6	96
Н. контр.						ЦНТУ, гр.ЕЕ-22		
Затвердив	Плещков П.							

6.	СТРУМИ КЗ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ШВЕЙНОЇ ФАБРИКИ, ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ, МЕРЕЖ ТА ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ.....	52
6.1	Розрахунок струмів короткого замикання в системі електропостачання швейної фабрики.....	52
6.2	Вибір та перевірка струмопровідних пристроїв та високовольтного обладнання швейної фабрики.....	55
6.3	Вибір трансформаторів струму та напруги, електричних схем підключення лічильників.....	59
7.	ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ ШВЕЙНОГО ЦЕХУ.....	64
7.1	Аналіз особливостей зорової роботи та ергономічні вимоги до освітлення на швейному виробництві.....	64
7.2	Дослідження енергоефективних режимів роботи освітлюваль- них установок.....	69
7.2.1.	Архітектурно-будівельна та світлотехнічна характеристика об'єкта дослідження.....	69
7.2.2.	Розробка енергоефективних режимів роботи та автоматизація системи освітлення.....	70
7.3.	Світлотехнічний розрахунок та конфігурація енергоефективної освітлювальної установки.....	74
7.3.1.	Розрахунок природнього та штучного освітлення цеху.....	74
7.3.2.	Світлотехнічний розрахунок загального рівномірного освітлення, вибір кількості та потужності джерел світла.....	77
7.3.3.	Розподіл світильників на автоматизовані групи керування..	79
7.4	Електричний розрахунок автоматизованої системи електро- постачання освітлення.....	80
7.5	Оцінка показників енергоефективності та розрахунок економії електроенергії.....	87
	ВИСНОВКИ.....	90
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	92
	Додаток А. Вибір високовольтного обладнання розподільчого пристрою, трансформаторів струму та напруги.....	94

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ШВ – швейна фабрика

ЕШЦ – експериментальний швейний цех

ОН – освітлювальне навантаження

ТП – трансформаторна підстанція

ЦЕН – центр електричних навантажень

СЕП – система електропостачання

ГЕН – графік електричних навантажень

КЛ – кабельна лінія

КТП – комплектна трансформаторна підстанція

КУ – конденсаторна установка

КРП – компенсація реактивної потужності

БСК – батареї статичних конденсаторів

КЕН – картограма електричних навантажень

ЦРП – центральний розподільчий пристрій

КЗ – коротке замикання

ТС – трансформатори струму

ТН – трансформатори напруги

ДБН - Державні будівельні норми

ОП - освітлювальні прилади

LED - Light Emitting Diode (світловипромінювальний діод)

DALI - Digital Addressable Lighting Interface (цифровий інтерфейс освітлення з можливістю адресації)

КПО - коефіцієнт природної освітленості

ВСТУП. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ШВЕЙНОЇ ФАБРИКИ ТА ДАННІ ДО ПРОЕКТУВАННЯ

Сучасна швейна фабрика (ШВ) - це високотехнологічне підприємство легкої промисловості, орієнтоване на серійне та масове виробництво текстильних виробів як для внутрішнього, так і для міжнародного ринків. Конкурентоспроможність такого виробництва безпосередньо залежить від рівня автоматизації технологічних ліній, впровадження інноваційних рішень та загальної енергоефективності всіх супутніх процесів. Випуск продукції здійснюється як за контрактними замовленнями (моделями замовника), так і на основі власних дизайнерських розробок.

Технологічний цикл виготовлення одягу включає низку послідовних етапів: підготовку та розкрій матеріалу, безпосереднє пошиття, волого-теплову обробку (прасування) та фінішне оздоблення фурнітурою.

Для забезпечення високої якості та продуктивності на підприємстві застосовується широкий спектр сучасного електрообладнання, зокрема:

- автоматизовані розкрійні комплекси (електричні ножі з дисковими та стрічковими лезами);
- прямострочні одно- та двоголкові швейні машини човникового стібка з мікропроцесорним керуванням;
- краєобметувальні (оверлоки) та спеціалізовані машини ланцюгового стібка;
- програмовані петельні та гудзикові напівавтомати;
- промислові парогенератори, праски та преси.

Виробничий процес фабрики побудований за принципом безперервного потоку, що вимагає чіткої логістичної взаємодії всіх підрозділів. Тканини та фурнітура з центрального складу надходять до розкрійно-підготовчого комплексу, де здійснюється настилання та автоматизований розкрій. Готовий крій партіями передається до швейних цехів для збирання готових виробів на потокових лініях. Після пошиття та фінішної волого-теплової обробки одяг проходить контроль у лабораторії якості і надходить до транспортно-логістичного відділу для пакування та відвантаження.

						Арк.
						9

Критично важливу роль у цьому безперервному ланцюгу відіграють допоміжні підрозділи: котельня здійснює безперебійне постачання технологічної пари для пресів та прасок, а служба головного механіка забезпечує планове та оперативне обслуговування механізмів, зводячи до мінімуму простої виробничих ліній.

Для підтримки нормованих мікрокліматичних умов виробничі цехи обладнані потужними системами припливно-витяжної вентиляції та кондиціонування. Фабрика також має власну службу головного механіка та енергетика, що дозволяє оперативно здійснювати технічне обслуговування обладнання безпосередньо на місці.

Специфіка технологічного процесу визначає характер електричних навантажень підприємства. Головними силовими електроприймачами фабрики є трифазні асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором, які становлять понад 75% від загальної встановленої потужності об'єкта. Вони є базовими приводами як для основного технологічного обладнання (розкрійні машини, промислові швейні агрегати, конвеєрні стрічки), так і для потужних загальнопромислових установок: припливно-витяжної вентиляції, компресорів, мережевих насосів котельні та ліфтових механізмів.

Зовнішнє електропостачання підприємства здійснюється від районної трансформаторної підстанції енергосистеми напругою 35/10 кВ. За ступенем надійності електропостачання переважна більшість технологічних споживачів фабрики належить до другої категорії, режим роботи підприємства - двозмінний.

При розробці сучасної системи електропостачання фабрики ключова увага приділяється не лише класичним факторам (розрахунку потужностей, вибору перерізів кабелів чи кількості підстанцій), але й питанням енергозбереження. Пріоритетними завданнями є застосування сучасного комплектного енергоефективного обладнання, забезпечення високих показників якості електроенергії на затискачах приймачів, а також впровадження автоматизованих систем керування, що дозволяє оптимізувати експлуатаційні витрати підприємства.

						Арк.
						10

Електричні навантаження підрозділів швейної фабрики наведено у таблиці 1.

Таблиця 1- Електричні навантаження цехів фабрики

№ п/п	Найменування підрозділів	Площа цеха,м ²	Кількість ЕП	Встановлена потужність ЕП,кВт	
				Одного	Сумарна
1	2	3	4	5	6
1	Центральний корпус				
1.1	Розкрійно-підготовчий комплекс	2200	158	0,25-46	1075
1.2	Цех пошиття №1	2600	358	0,25-25	997,2
1.3	Цех пошиття №2	3100	316	0,25-15	1125,2
1.4	Дільниця шовкографії та термодруку	80	3	0,6-2,5	5,6
1.5	Цех виробництва утеплювачів	96	82	0,25-30	204,5
1.6	Лабораторія контролю якості	170	8	0,6-2,1	8,6
1.7	Цех переробки та сортування відходів	680	15	0,25-4,2	58,6
2	Експериментальний швейний цех	544	72	0,25-4,5	158,4
3	Столова	160	33	0,18-80	543,13
4	Адміністративно-побутовий корпус	1900	38	0,25-41.5	524,3
5	Котельня	620	19	4,5-75	956
6	Головний склад	180	4	1,5-7,5	18
7	Склад	110	4	1,5-10	15,5
8	Служба головного механіка	420	44	3,7-30	386
9	Прохідна	16	4	0,5-1,7	3,8
10	Навчально-виробничий центр	120	15	4-20	65,2
11	Транспортно-логістичний відділ	210	33	0,8-33	175,84

1 ЕЛЕКТРИЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ ШВЕЙНОЇ ФАБРИКИ

1.1 Розрахунок освітлювальних навантажень швейної фабрики

Визначення освітлювальних навантажень (ОН) підприємства в цілому та його окремих підрозділів здійснюється за методом питомої потужності на одиницю корисної площі приміщення [1, 2].

Детальний розрахунок освітлювального навантаження наведемо на прикладі експериментального швейного цеху (ЕШЦ).

Розрахункове активне освітлювальне навантаження визначається за формулою:

$$P_{p.o.} = P_{в.} \cdot K_1 \cdot K_n = 9,79 \cdot 1,12 \cdot 0,8 = 8,77 \text{ кВт},$$

де $P_{в.} = F_{ешц} \cdot p_0 \cdot 10^{-3} = 544 \cdot 18 \cdot 10^{-3} = 9,79 \text{ кВт}$ – встановлена потужність освітлення,

$F_{ешц} = 544$ - площа ЕШЦ, м²;

$p_0 = 18$ - питома потужність ОН для даного типу приміщень, Вт/м²;

$K_1 = 1,12$ - коефіцієнт, що враховує втрати активної потужності в пускорегулювальній апаратурі (LED-драйверах) світлодіодних світильників;

$K_n = 0,8$ – значення коефіцієнту попиту;

Розрахункове реактивне освітлювальне навантаження ЕШЦ:

$$Q_{p.o.} = P_{p.o.} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 8,77 \cdot 0,33 = 2,88 \text{ квар},$$

де $\cos \varphi = 0,95$ ($\operatorname{tg} \varphi = 0,33$) - розрахункове значення для сучасних промислових світлодіодних світильників.

Повне розрахункове ОН ЕШЦ:

$$S_{p.o.} = \sqrt{P_{p.o.}^2 + Q_{p.o.}^2} = \sqrt{8,77^2 + 2,88^2} = 9,24 \text{ кВА}.$$

Для інших виробничих та допоміжних підрозділів фабрики розрахунки виконуються за аналогічним алгоритмом, а отримані результати зведено до таблиці 1.1.

						Арк.
						12

Таблиця 1.1 – Освітлювальні навантаження швейної фабрики

№	Назва підрозділу	$F_{\text{ц}}$	P_0	$P_{\text{в}}$	K_1	$K_{\text{п}}$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$P_{\text{р.о.}}$	$Q_{\text{р.о.}}$
		м ²	Вт/м ² ·10 ⁻³	кВт	-	-	-	-	кВт	квар
1	Експериментальний швейний цех	544	18	9,79	1,12	0,8	0,95	0,33	8,77	2,88
2	Центральний корпус									
2.1	Розкрийно-підготовчий комплекс	2200	20	44,0	1,12	0,8	0,95	0,33	39,42	12,96
2.2	Цех пошиття №1	2600	20	52,0	1,12	0,8	0,95	0,33	46,59	15,31
2.3	Цех пошиття №2	3100	20	62,0	1,12	0,8	0,95	0,33	55,55	18,26
2.4	Цех виробництва утеплювачів	96	16	1,54	1,12	0,6	0,9	0,48	1,03	0,50
2.5	Цех переробки та сортування відходів	680	16	10,88	1,12	0,6	0,5	1,73	7,31	12,65
2.6	Лабораторія контролю якості	170	20	3,4	1,12	0,6	0,95	0,33	2,28	0,75
2.7	Дільниця шовкографії та термодруку	80	18	1,44	1,12	0,6	0,95	0,33	0,97	0,32
3	Столова	160	16	2,56	1,2	0,8	0,9	0,48	2,46	1,19
4	АПК	1900	20	38,0	1,2	0,8	0,9	0,48	36,48	17,67
5	Котельня	620	14	8,68	1,12	0,6	0,5	1,73	5,83	10,09
6	Головний склад	160	8	1,28	1,12	0,6	0,9	0,48	0,86	0,42
7	Служба головного механіка	420	18	7,56	1,12	0,8	0,5	1,73	6,77	11,72
8	Склад	110	8	0,88	1,12	0,6	0,9	0,48	0,59	0,29
9	Навчально-виробничий комплекс	120	20	2,40	1,2	0,8	0,9	0,48	2,30	1,12
10	Прохідна	16	16	0,256	1,2	0,6	0,9	0,48	0,18	0,09
11	Транспортно-логістичний відділ	210	16	3,36	1,12	0,8	0,9	0,48	3,01	1,46
12	Освітлення території	25800	0,1	2,58	1,12	1	0,95	0,33	2,89	0,95
	Всього	30542							128,53	77,46

Вибір джерел світла для різних цехів та відділів швейної фабрики здійснено диференційовано, з урахуванням специфіки зорових робіт, висоти приміщень, умов навколишнього середовища та сучасних вимог до енергоефективності.

Для основних технологічних зон (розкрійно-підготовчий комплекс, швейні цехи №1 та №2, дільниця шовкографії, експериментальний цех та лабораторія ВТК) прийнято світлодіодні (LED) джерела світла. Таке рішення зумовлене жорсткими вимогами до якості освітлення, а саме LED-матриці забезпечують високий індекс передачі кольору ($R_a \geq 80$) для точної роботи з відтінками тканин і повністю усувають небезпечний стробоскопічний ефект на швидкорухомих механізмах швейних машин.

Натомість, для виробничих приміщень з великою висотою підвісу світильників та складними умовами середовища (котельня, служба головного механіка), де немає прецизійних зорових робіт, передбачено встановлення металогалогенних ламп.

Для адміністративно-побутового корпусу, їдальні та навчально-виробничого центру обрано економічно доцільні растрові світильники з лінійними люмінесцентними лампами, які створюють комфортне м'яке та розсіяне світло для роботи з документами та відпочинку.

У приміщеннях зі специфічними умовами середовища (цех виробництва утеплювачів з високим рівнем запиленості волокнами, а також складські та транспортно-логістичні зони) до встановлення прийняті світильники в закритому виконанні зі ступенем пиловологозахисту IP65.

1.2 Розрахунок електричних навантажень швейної фабрики в мережах до 1 кВ

Розрахунок електричних навантажень силових електроприймачів напругою 0,4 кВ виконується за загальноприйнятим інженерним методом впорядкованих діаграм (методом коефіцієнта максимуму). Детальну методику та теоретичне обґрунтування даного розрахунку наведено в [1, 2].

						Арк.
						14

Головною метою цього етапу є визначення розрахункових значень активного P_p , реактивного Q_p та повного S_p навантажень, а також розрахункових струмів I_p як для окремих вузлів живлення, так і для підприємства в цілому.

Отримані результати є базою для подальшого вибору перерізів кабельно-провідникової продукції, комутаційно-захисних апаратів та номінальної потужності цехових трансформаторів.

Вихідними даними для розрахунку є перелік технологічних електроприймачів за цехами фабрики (таблиця 1), їхня встановлена потужність, а також довідкові значення коефіцієнта використання K_v та коефіцієнта потужності $\cos\varphi$.

Детальний алгоритм обчислень наведемо на прикладі силової групи споживачів експериментального швейного цеху:

$$n_{\text{ещ}} = 20 + 20 + 7 + 7 + 13 + 3 + 2 = 72 \text{ шт};$$

$$\underline{P_{н.мін}} = 0,25 \text{ кВт}; \quad \underline{P_{н.мах}} = 4,5 \text{ кВт}; \quad \underline{P_{н.сум}} = 158,4 \text{ кВт};$$

$$P_{с.нав.} = 42 + 24 + 1,4 + 0,88 + 21,84 + 5,4 + 3 = 98,52 \text{ кВт};$$

$$Q_{с.нав.} = 31,5 + 21,166 + 0,638 + 1,023 + 22,281 + 7,2 + 3,061 = 86,869 \text{ квар};$$

$$n_{ef} = \frac{2P_{н.сум.}}{P_{н.мах}} = \frac{2 \cdot 158,4}{4,5} = 70,4, \text{ приймаємо } 70;$$

$$K_B = \frac{P_{зм.сум.}}{P_{н.сум.}} = \frac{98,52}{158,4} = 0,622, \text{ вибираємо } K_p = 1,0;$$

$$m = \frac{P_{н.мах}}{P_{н.мін}} = \frac{4,5}{0,25} = 18 \geq 3;$$

$$tg\varphi = \frac{Q_{зм.сум.}}{P_{зм.сум.}} = \frac{86,869}{98,52} = 0,882; \quad \cos\varphi = 0,75;$$

$$P_p = K_p \cdot P_{зм.сум.} = 1,0 \cdot 98,52 = 98,52 \text{ кВт}; \quad Q_p = Q_{зм.сум.} = 86,869 \text{ квар};$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{98,52^2 + 86,87^2} = 131,345.$$

Аналогічні розрахунки мережі 0,4 кВ фабрики зводимо до табл.1.2.

						Арк.
						15

Таблиця 1.2 - Розрахунок електричних навантажень в мережі швейної фабрики до 1000 В

Найменування підрозділу	n	Потужність ЕП, кВт		m	K_B	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	Середнє навантаження		N_{ef}	K_p	Розрахункове навантаження		
		$P_{min}-P_{max}$	P_{Σ}					$P_{с.нав.}$	$Q_{с.нав.}$			P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1. Експериментальний швейний цех														
Універсальна швейна машина	20	3	60		0,70	0,80	0,75	42,00	31,5					
Праски побутові	20	2	40		0,60	0,75	0,882	24,00	21,166					
Стачувально обметувальна машина	7	0,25	1,75		0,80	0,91	0,456	1,40	0,638					
Спецмашина	7	0,25	1,75		0,50	0,65	1,169	0,88	1,023					
Швейні машини	13	2,8	36,4		0,60	0,70	1,02	21,84	22,281					
Парогенератори	3	4,5	13,5		0,40	0,60	1,333	5,40	7,2					
Кондеціонер	2	2,5	5		0,60	0,70	1,02	3,00	3,061					
Всього по ЕШЦ	72	0,25-4,5	158,4	>3	0,622	0,750	0,882	98,52	86,869	70	1	98,52	86,87	131,345
2. Центральний корпус														
2.1. Розкрийно-підготовчий комплекс	158	0.25-46	1075	>3	0,69	0,62	1,2655	741,75	938,67	42	1	741,75	938,675	1196,37
2.2. Цех пошиття №1	358	0.25-25	997,2	>3	0,72	0,68	1,077	714,20	769,50	80	1	714,20	769,50	1049,86
2.3. Цех пошиття №2	316	0.25-15	1125,2	>3	0,58	0,75	0,881	648,30	571,33	90	1	648,30	571,33	864,12
2.4. Цех виробництва утеплювачів	82	0.25-30	204,5	>3	0,50	0,75	0,872	102,00	88,90	14	1,01	103,02	88,90	136,07
2.5.Цех переробки та сортування відходів	15	0.25-4.2	58,6	>3	0,58	0,69	1,035	34,20	35,40	15	1	34,20	35,40	49,22
2.6.Лабораторія контролю якості	8	0.6-2.1	8,6	>3	0,55	0,65	1,169	4,73	5,55	8	1,05	4,97	5,55	7,45

Продовження таблиці 1.2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2.7. Дільниця шовкографії та термодруку	3	0.6-2.5	5,6	>3	0,49	0,71	0,992	2,74	2,72	3	1,4	3,84	2,99	4,87
3. Столова	33	0.18-80	543,13	>3	0,26	0,72	0,973	140,58	136,75	14	1,05	147,61	136,75	201,22
4. АПК	38	0.25-41.5	524,3	>3	0,42	0,76	0,845	220,00	185,88	25	1	220,00	185,88	288,01
5. Котельня	19	4.5-75	956	>3	0,59	0,81	0,719	564,80	406,34	26	1	564,80	406,34	695,78
6. Головний склад	4	1.5-7,5	18	>3	0,45	0,66	1,125	8,10	9,11	4	1,27	8,99	9,11	12,80
7. Служба головного механіка	44	3.7-30	386	>3	0,17	0,50	1,742	65,97	114,89	26	1,15	75,87	114,89	137,68
8. Склад	4	1.5-10	15,5	>3	0,47	0,58	1,411	7,30	10,30	3	1,48	10,80	10,30	14,93
9. Навчально-виробничий комплекс	15	4-20	65,2	>3	0,39	0,74	0,916	25,60	23,46	5	1,18	30,21	23,46	38,25
10. Прохідна	4	0,5-1,7	3,8	>3	0,37	0,57	1,429	1,40	2,00	4	1,26	1,76	2,00	2,67
11. Транспортно-логістичний відділ	33	0.8-33	175,84	>3	0,24	0,50	1,742	41,99	73,15	11	1,23	51,65	73,15	89,54
Всього по ШФ:														
силове	1206	0,18-80	6320,87	>3	0,541	0,68	1,074	3422,18	3673,81	158	1	3422,18	3673,81	5020,77
освітлювальне												128,53	77,46	
Разом												3550,71	3751,27	5165,23

1.3 Електричні навантаження швейної фабрики

в мережах вище 1 кВ

Згідно з наведеною вище методикою (метод впорядкованих діаграм), наводимо детальний приклад обчислення розрахункового навантаження на шинах 10 кВ цехової трансформаторної підстанції ТП-1.

Вихідні дані силової групи напругою 0,4 кВ:

$$n_{\text{ТП1}} = 158 + 3 + 8 = 169 \text{ шт};$$

$$P_{\text{н.мін}} = 0,25 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{н.мах}} = 46 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{н.сум.}} = 1089,2 \text{ кВт};$$

Середня потужність за найбільш завантажену зміну:

$$P_{\text{с.нав.}} = 741,75 + 2,74 + 4,73 = 749,22 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{с.нав.}} = 938,68 + 2,72 + 5,55 = 946,95 \text{ квар};$$

$$n_{\text{еф}} = 47,4; \text{ приймаємо } 47; K_{\text{В}} = 0,688, \text{ вибираємо } K_{\text{р}} = 1,0;$$

$$m = 184 \geq 3; \text{ tg}\varphi = 1.264; \cos \varphi = 0,62;$$

$$P_{\text{р.ТП1}} = K_{\text{р}} \cdot P_{\text{с.нав.}} = 1,0 \cdot 749.22 = 749.22 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{р.ТП1}} = Q_{\text{с.нав.}} = 946.95 \text{ квар};$$

$$S_{\text{р.}} = \sqrt{P_{\text{р.}}^2 + Q_{\text{р.}}^2} = \sqrt{749,22^2 + 946,95^2} = 1207,49 \text{ кВА}.$$

З урахуванням освітлювального навантаження цехів, що живляться від підстанції:

$$P_{\text{сум.}} = P_{\text{р.}} + P_{\text{о.}} = 749,22 + 42,68 = 791,90 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{сум.}} = Q_{\text{р.}} + Q_{\text{о.}} = 946,95 + 14,03 = 960,97 \text{ квар}.$$

Реактивне навантаження з урахуванням встановлення батарей статичних конденсаторів напругою 0,4 кВ (детальний вибір яких наведено у розділі 4):

						Арк.
						18

$$Q_{\text{сум.ку}} = Q_{\text{сум.}} - Q_{\text{ку}} = 960,97 - 600 = 360,97 \text{ квар};$$

Повне навантаження ТП-1 після компенсації:

$$S_{\text{сум.ку}} = \sqrt{P_{\text{сум.}}^2 + Q_{\text{сум.ку}}^2} = \sqrt{791,90^2 + 360,97^2} = 870,29 \text{ кВА.}$$

Для живлення обрано двотрансформаторну підстанцію з трансформаторами потужністю 630 кВА. Коефіцієнт їхнього завантаження у нормальному режимі становить:

$$k_{\text{з.}} = \frac{S_{\text{сум.ку}}}{n \cdot S_{\text{н.тр.}}} = \frac{870,29}{2 \cdot 630} = 0,69.$$

Розраховуємо втрати активної та реактивної потужності в силових трансформаторах:

$$\Delta P_{\text{ТП1}} = n(\Delta P_X + \Delta P_K \cdot K_3^2) = 2 \cdot (1,24 + 7,6 \cdot 0,69^2) = 9,73 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{\text{ТП1}} = n \left(\frac{I_X}{100} S_H + \frac{U_K}{100} S_H \cdot K_3^2 \right) = 2 \cdot \left(\frac{1,2}{100} \cdot 630 + \frac{5,5}{100} \cdot 630 \cdot 0,69^2 \right) = 76,48 \text{ кВАр.}$$

Підсумкове розрахункове навантаження ТП-1 на стороні високої напруги (10 кВ):

$$P_{\text{р.10кВ}} = P_{\text{сум.}} + \Delta P_{\text{ТП1}} = 791,90 + 9,73 = 801,63 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{р.10кВ}} = Q_{\text{сум.ку}} + \Delta Q_{\text{ТП1}} = 360,97 + 76,48 = 437,45 \text{ квар},$$

$$S_{\text{сум.ТП1}} = \sqrt{P_{\text{р.ТП1}}^2 + Q_{\text{р.ТП1}}^2} = \sqrt{801,63^2 + 437,45^2} = 913,22 \text{ кВА}$$

Розрахунок навантажень для інших трансформаторних підстанцій мережі вище 1 кВ та підприємства в цілому виконується аналогічно, а отримані результати зведено до таблиці 1.3.

						Арк.
						19

Таблиця 1.3 - Розрахунок електричних навантажень ШФ в мережі вище 1кВ

№	Найменування	п	Потужність ЕП, кВт		m	K _B	cos φ	tg φ	Середнє навантаження		N _{еф}	K _p	Розрахункове навантаження		
			P _{min} -P _{max}	P _Σ					P _{с.нав.}	Q _{с.нав.}			P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	ТП-1														
1.1.	Розкрийно-підготовчий комплекс														
	силове	158	0.25-46	1075		0,69	0,62	1,265	741,75	938,675	42	1	741,75	938,67	1196,37
	освітлювальне												39,42	12,96	
	Всього по 0,4 кВ РПК												781,17	951,63	1231,19
1.2.	Дільниця шовкографії та термодруку														
	силове	3	0.6-2.5	5,6		0,49	0,71	0,992	2,74	2,72	3	1,4	3,84	2,99	4,87
	освітлювальне												0,97	0,32	
	Всього по 0,4 кВ ДШТ												4,81	3,31	5,84
1.3.	Лабораторія контролю якості														
	силове	8	0.6-2.1	8,6		0,55	0,65	1,169	4,73	5,55	8	1,05	4,97	5,55	7,45
	освітлювальне												2,28	0,75	
	Всього по 0,4 кВ ЛКЯ												7,25	6,30	9,61
	Разом														
	силове	169	0.25-46	1089,2		0,688	0,62	1,264	749,22	946,95	47	1	749,22	946,95	1207,49
	освітлювальне												42,68	14,03	
	Всього на шинах 0,4 кВ												791,90	960,97	1245,22
	КУ 0,4 кВ ТП-1													-600,00	
	З урахуванням КУ												791,90	360,97	870,29
	Втрати в трансформаторах												9,73	76,48	
	Всього на шинах 10 кВ ТП1												801,63	437,45	913,22

Продовження таблиці 1.3.

	ТП-2														
2.1.	Цех пошиття №1														
	силове	358	0.25-25	997,2		0,716	0,68	1,077	714,2	769,5	80	1	714,20	769,50	1049,86
	освітлювальне												46,59	15,31	
	Всього по цеху												760,79	784,81	1093,04
2.2.	Цех виробництва утеплювачів														
	силове	82	0.25-30	204,5		0,499	0,754	0,872	102	88,9	14	1,01	103,02	88,90	136,07
	освітлювальне												1,03	0,50	
	Всього по цеху												104,05	89,40	137,18
	Разом														
	силове	440	0.25-46	1201,7		0,679	0,689	1,052	816,2	858,4	52	1	816,20	858,40	1184,50
	освітлювальне												47,62	15,81	
	Всього на шинах 0,4 кВ												863,82	874,21	1229,00
	КУ 0,4 кВ ТП-2													-750,00	
	З урахуванням КУ												863,82	124,21	872,71
	Втрати в трансформаторах												9,77	76,77	
	Всього на шинах 10 кВ ТП-2												873,60	200,98	896,42
	ТП-3														
3.1.	Цех пошиття №2														
	силове	316	0.25-15	1125,2		0,57	0,75	0,881	648,3	571,33	90	1	648,30	571,33	864,12
	освітлювальне												55,55	18,26	
	Всього по цеху												703,85	589,59	918,16
3.2.	Цех переробки та сортування відходів														
	силове	15	0.25-4.2	58,6		0,58	0,695	1,035	34,2	35,4	15	1	34,20	35,40	49,22
	освітлювальне												7,31	12,65	
	Всього по цеху												41,51	48,05	63,50

Продовження таблиці 1.3.

3.3.	Експериментальний швейний цех														
	силове	72	0,25-4,5	158,4	0	0,62	0,75	0,882	98,515	86,869	70	1	98,52	86,87	131,34
	освітлювальне												8,77	2,88	
	Всього по цеху												107,29	89,75	139,88
	Освітлення території												2,89	0,95	
	силове	403	0.25-15	1342,2		0,582	0,748	0,888	781,015	693,6	179	1	781,02	693,60	1044,54
	освітлювальне												74,53	34,74	
	Всього на шинах 0,4 кВ												855,54	728,34	1123,58
	КУ 0,4 кВ ТП-4													-500,00	
	Втрати в трансформаторах												9,99	78,33	
	Всього на шинах 10 кВ ТП-3												865,53	306,67	918,25
	ТП-4														
4.1.	Котельня														
	силове	19	4.5-75	956	>3	0,59	0,81	0,72	564,8	406,34	26	1	564,80	406,34	695,78
	освітлювальне												5,83	10,09	
	Всього по котельні												570,63	416,43	706,43
4.2.	Служба головного механіка														
	силове	44	3.7-30	386	>3	0,17	0,50	1,74	65,97	114,89	26	1,15	75,87	114,89	137,68
	освітлювальне												6,77	11,72	
	Всього по СГМ												82,64	126,61	151,19
4.3.	Головний склад														
	силове	4	1.5-7,5	18		0,45	0,66	1,12	8,1	9,11	4	1,27	10,29	9,11	13,74
	освітлювальне												0,86	0,42	
	Всього по складу												11,15	9,53	14,66
4.4.	Склад														
	силове	4	1.5-10	15,5	>3	0,47	0,58	1,41	7,3	10,3	3	1,48	10,80	10,30	14,93
	освітлювальне												0,59	0,29	
	Всього по складу	0											11,40	10,59	15,55

Продовження таблиці 1.3.

4.5.	Транспортно-логістичний відділ														
	силове	33	0.8-33	175,84	>3	0,24	0,50	1,74	41,988	73,147	11	1,23	51,65	73,15	89,54
	освітлювальне												3,01	1,46	
	Всього по АТЦ												54,66	74,61	92,48
	Разом														
	силове	104	0.8-33	1551,34	>3	0,44	0,75	0,89	688,158	613,787	92	1,091	750,78	613,79	969,75
	освітлювальне												17,07	23,97	
	Всього на шинах 0,4 кВ												767,85	637,76	998,16
	КУ 0,4 кВ ТП-4													-250,00	
	З урахуванням КУ												767,85	387,76	860,20
	Втрати в трансформаторах												9,56	75,27	
	Всього на шинах 10 кВ ТП-4												777,41	463,03	904,86
	ТП-5														
5.1.	АПК														
	силове	38	0.25-41.5	524,3	>3	0,42	0,764	0,845	220	185,88	25	1	220,00	185,88	288,01
	освітлювальне												36,48	17,67	
	Всього по корпусу												256,48	203,55	327,44
5.2.	Столова														
	силове	33	0.18-80	543,13	>3	0,259	0,717	0,973	140,58	136,75	14	1,05	147,61	136,75	201,22
	освітлювальне												2,46	1,19	
	Всього по їдальні												150,07	137,94	203,83
5.3.	Навчально-виробничий центр														
	силове	15	4-20	65,2	>3	0,393	0,737	0,916	25,6	23,46	5	1,18	30,21	23,46	38,25
	освітлювальне												2,30	1,12	
	Всього по гаражу												32,51	24,58	40,76
5.4.	Прохідна														
	силове	4	0,5-1,7	3,8	>3	0,368	0,573	1,428	1,4	2	4	1,26	1,76	2,00	2,67
	освітлювальне												0,18	0,09	

Продовження таблиці 1.3.

Всього по прохідній													1,95	2,09	2,86
Разом															
силове	90	0,25-80	1136,43		0,341	0,744	0,898	387,58	348,09	28,4	1	387,58	348,09	520,95	
освітлювальне												4,95	2,40		
Всього на шинах 0,4 кВ												392,53	350,49	526,23	
КУ 0,4 кВ ТП-4													-150,00		
З урахуванням КУ												392,53	200,49	440,76	
Втрати в трансформаторах												9,92	77,84		
Всього на шинах 10 кВ ТП-4												402,45	278,33	489,31	
Всього по фабриці															
силове	1206	0,18-80	6320,87	>3	0,541	0,682	1,074	3422,18	3673,8	158	1	3422,18	3673,81	5020,77	
освітлювальне												128,53	77,46		
Всього на шинах 0,4 кВ												3550,71	3751,27	5165,23	
Втрати в трансформаторах												49,98	391,97		
З врахуванням втрат												3600,69	4143,24	5489,21	
КУ 0,4 кВ													-2150		
З врахуванням КУ 0,4 кВ												3600,69	1993,24	4115,58	
КУ 10 кВ													-1500		
Всього на шинах 10 кВ ШФ												3600,69	493,24	3634,32	

1.4 Графіки електричних навантажень швейної фабрики

Для швейної фабрики визначаються добові графіки електричних навантажень (ГЕН) активної, реактивної та повної потужності. Побудова графіків виконується з урахуванням періодів року (зимовий/літній), типу дня (робочий/вихідний) та впровадження пристроїв компенсації реактивної потужності.

Наведена методика [1] дозволяє розрахувати загальне річне споживання активної та реактивної енергії підприємством, визначити час використання максимального навантаження (T_m) та час максимальних втрат (τ). Оскільки на етапі проектування фактичні виміри відсутні, для розрахунків застосовуються усереднені типові графіки навантажень для підприємств легкої промисловості.

Детальний приклад обчислення наведемо для 8-ї сходитки добового графіка, що відповідає проміжку часу з 7:00 по 8:00. Базові (максимальні) значення потужності підприємства зафіксовані у зміну з 8:00 по 9:00: $P_{\max} = 3600,69$ кВт; $Q_{\max} = 4143,24$ квар (без компенсації); $Q_{\max} = 493,24$ квар (з компенсацією).

Для зимового робочого дня:

$$P_{з.р.} = 0,94 \cdot P_{\max} = 0,94 \cdot 3600,69 = 3384,65 \text{ кВт};$$

$$Q_{з.р.} = 0,99 \cdot Q_{\max} = 0,99 \cdot 4143,24 = 4101,81 \text{ квар};$$

$$Q_{з.р.кп} = 0,99 \cdot Q_{\max.кп} = 0,99 \cdot 493,24 = 488,31 \text{ квар}.$$

Для літнього робочого дня:

$$P_{л.р.} = 0,799 \cdot P_{\max} = 0,799 \cdot 3600,69 = 2876,95 \text{ кВт};$$

$$Q_{л.р.} = 0,99 \cdot Q_{\max} = 0,8415 \cdot 4143,24 = 3486,54 \text{ квар};$$

$$Q_{л.р.кп} = 0,99 \cdot Q_{\max.кп} = 0,8415 \cdot 493,24 = 415,06 \text{ квар}.$$

Для зимового вихідного дня:

$$P_{з.в.} = 0,94 \cdot P_{\max} = 0,29 \cdot 3600,69 = 1044,20 \text{ кВт};$$

$$Q_{з.в.} = 0,99 \cdot Q_{\max} = 0,31 \cdot 4143,24 = 1284,40 \text{ квар};$$

$$Q_{з.в.кп} = 0,99 \cdot Q_{\max.кп} = 0,31 \cdot 493,24 = 152,90 \text{ квар}.$$

Для літнього вихідного дня:

						Арк.
						25

$$P_{\text{л.в.}} = 0,799 \cdot P_{\text{max}} = 0,2465 \cdot 3600,69 = 887,57 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{л.в.}} = 0,99 \cdot Q_{\text{max}} = 0,2635 \cdot 4143,24 = 1091,74 \text{ квар};$$

$$Q_{\text{л.в.кп}} = 0,99 \cdot Q_{\text{max.кп}} = 0,2635 \cdot 493,24 = 129,97 \text{ квар}.$$

Розрахунки для інших сходинок добових графіків виконані за аналогічним алгоритмом і зведені до таблиць 1.4 – 1.7. Добові графіки активної та реактивної потужності наведено на рис. 1.1 – 1.3 відповідно.

Таблиця 1.4 – Розрахунок для побудови добового графіку ШФ по активній потужності

t, год	$P_{\text{з.р.}}, \%$	$P_{\text{з.р.}}, \text{кВт}$	$P_{\text{л.р.}}, \%$	$P_{\text{л.р.}}, \text{кВт}$	$P_{\text{з.в.}}, \%$	$P_{\text{з.в.}}, \text{кВт}$	$P_{\text{л.в.}}, \%$	$P_{\text{л.в.}}, \text{кВт}$
	Робочий день				Вихідний день			
0...1	34	1224,23	28,9	1040,60	29	1044,20	24,65	887,57
1...2	34	1224,23	28,9	1040,60	29	1044,20	24,65	887,57
2...3	34	1224,23	28,9	1040,60	29	1044,20	24,65	887,57
3...4	34	1224,23	28,9	1040,60	29	1044,20	24,65	887,57
4...5	48	1728,33	40,8	1469,08	29	1044,20	24,65	887,57
5...6	48	1728,33	40,8	1469,08	29	1044,20	24,65	887,57
6...7	64	2304,44	54,4	1958,78	29	1044,20	24,65	887,57
7...8	94	3384,65	79,9	2876,95	29	1044,20	24,65	887,57
8...9	100	3600,69	85	3060,59	25	900,17	21,25	765,15
9...10	94	3384,65	79,9	2876,95	25	900,17	21,25	765,15
10...11	75	2700,52	63,75	2295,44	25	900,17	21,25	765,15
11...12	70	2520,48	59,5	2142,41	25	900,17	21,25	765,15
12...13	94	3384,65	79,9	2876,95	25	900,17	21,25	765,15
13...14	84	3024,58	71,4	2570,89	25	900,17	21,25	765,15
14...15	79	2844,55	67,15	2417,86	25	900,17	21,25	765,15
15...16	75	2700,52	63,75	2295,44	25	900,17	21,25	765,15
16...17	83	2988,57	70,55	2540,29	25	900,17	21,25	765,15
17...18	83	2988,57	70,55	2540,29	29	1044,20	24,65	887,57
18...19	71	2556,49	60,35	2173,02	29	1044,20	24,65	887,57
19...20	71	2556,49	60,35	2173,02	29	1044,20	24,65	887,57
20...21	60	2160,41	51	1836,35	29	1044,20	24,65	887,57
21...22	60	2160,41	51	1836,35	29	1044,20	24,65	887,57
22...23	34	1224,23	28,9	1040,60	29	1044,20	24,65	887,57
23...24	34	1224,23	28,9	1040,60	29	1044,20	24,65	887,57
		56062,74		47653,33		23800,56		20230,48

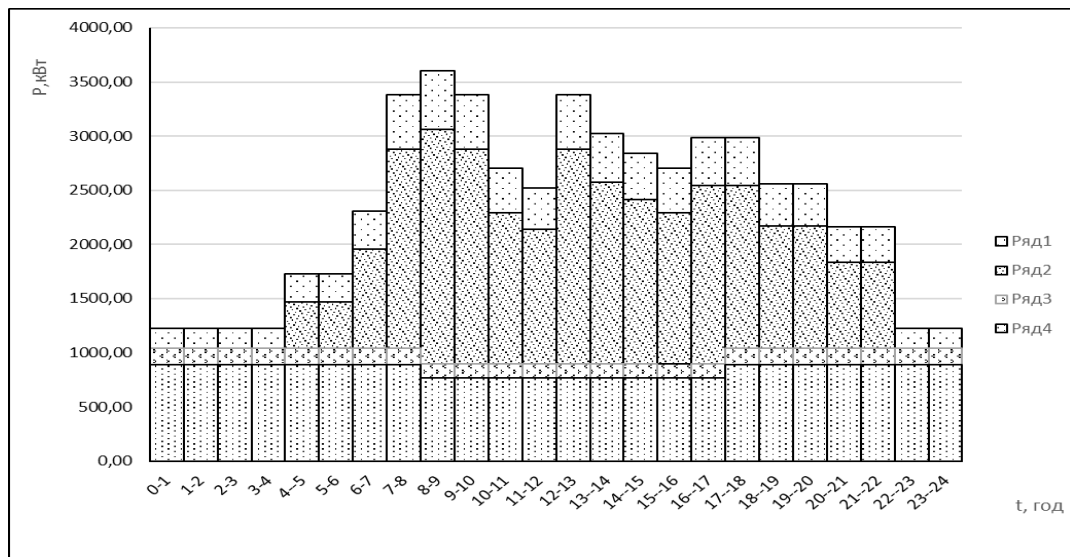


Рис. 1.1 - Добові графіки активного навантаження швейної фабрики: 1, 2 – робочі дні (зимовий та літній періоди); 3, 4 – вихідні дні (зимовий та літній періоди)

Таблиця 1.5 – Вихідні дані для побудови добових графіків реактивної потужності в зимовий та літній періоди (без компенсації)

t, год	$Q_{з.р.}, \%$	$Q_{з.р.}, \text{квар}$	$Q_{л.р.}, \%$	$Q_{л.р.}, \text{квар}$	$Q_{з.в.}, \%$	$Q_{з.в.}, \text{квар}$	$Q_{л.в.}, \%$	$Q_{л.в.}, \text{квар}$
0...1	39	1615,86	33,15	1373,48	31	1284,40	26,35	1091,74
1...2	39	1615,86	33,15	1373,48	31	1284,40	26,35	1091,74
2...3	39	1615,86	33,15	1373,48	31	1284,40	26,35	1091,74
3...4	39	1615,86	33,15	1373,48	31	1284,40	26,35	1091,74
4...5	51	2113,05	43,35	1796,09	31	1284,40	26,35	1091,74
5...6	51	2113,05	43,35	1796,09	31	1284,40	26,35	1091,74
6...7	69	2858,84	58,65	2430,01	31	1284,40	26,35	1091,74
7...8	99	4101,81	84,15	3486,54	31	1284,40	26,35	1091,74
8...9	100	4143,24	85	3521,75	27	1118,67	22,95	950,87
9...10	99	4101,81	84,15	3486,54	27	1118,67	22,95	950,87
10...11	77	3190,29	65,45	2711,75	27	1118,67	22,95	950,87
11...12	77	3190,29	65,45	2711,75	27	1118,67	22,95	950,87
12...13	99	4101,81	84,15	3486,54	27	1118,67	22,95	950,87
13...14	89	3687,48	75,65	3134,36	27	1118,67	22,95	950,87
14...15	89	3687,48	75,65	3134,36	27	1118,67	22,95	950,87
15...16	77	3190,29	65,45	2711,75	27	1118,67	22,95	950,87
16...17	84	3480,32	71,4	2958,27	27	1118,67	22,95	950,87
17...18	84	3480,32	71,4	2958,27	31	1284,40	26,35	1091,74
18...19	73	3024,57	62,05	2570,88	31	1284,40	26,35	1091,74
19...20	73	3024,57	62,05	2570,88	31	1284,40	26,35	1091,74
20...21	61	2527,38	51,85	2148,27	31	1284,40	26,35	1091,74
21...22	61	2527,38	51,85	2148,27	31	1284,40	26,35	1091,74
22...23	39	1615,86	33,15	1373,48	31	1284,40	26,35	1091,74
23...24	39	1615,86	33,15	1373,48	31	1284,40	26,35	1091,74
		68239,16		58003,29		29334,14		24934,02

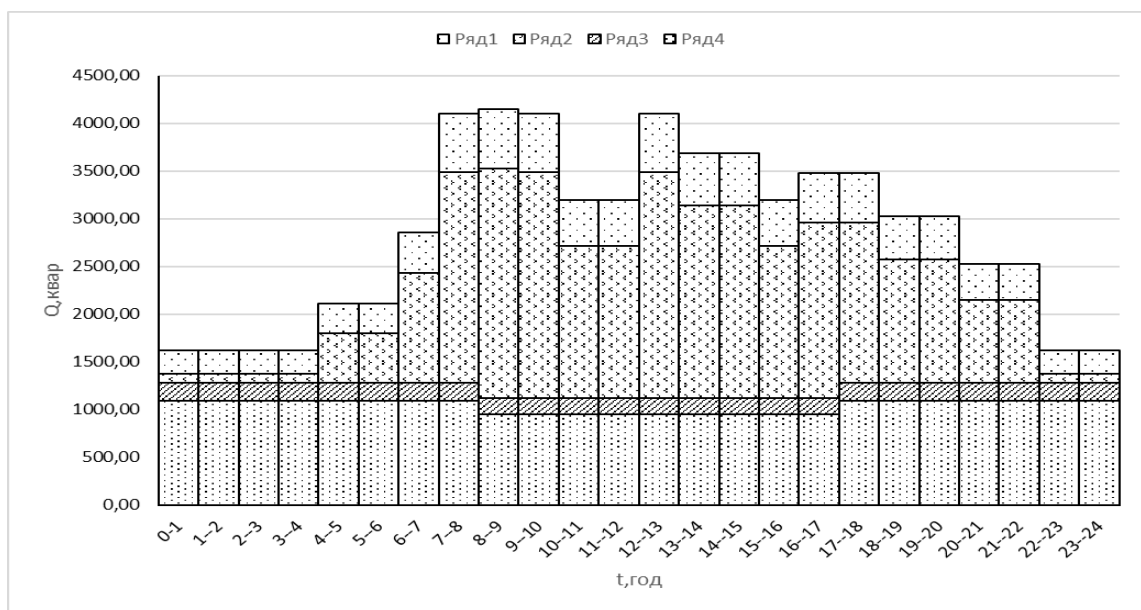


Рис. 1.2 – Добові графіки реактивного навантаження ШФ: 1, 2 – робочі дні (зимовий та літній періоди); 3, 4 – вихідні дні (зимовий та літній періоди)

Таблиця 1.6 – Вихідні дані для побудови добових графіків реактивної потужності в зимовий та літній періоди (з врахуванням компенсації РП)

t, год	Qз, %	Qз, квар	Qл, %	Qл, квар	Qз, %	Qз, квар	Qл, %	Qл, квар
	Робочий день				Вихідний день			
0...1	39	192,36	33,15	163,51	31	152,90	26,35	129,97
1...2	39	192,36	33,15	163,51	31	152,90	26,35	129,97
2...3	39	192,36	33,15	163,51	31	152,90	26,35	129,97
3...4	39	192,36	33,15	163,51	31	152,90	26,35	129,97
4...5	51	251,55	43,35	213,82	31	152,90	26,35	129,97
5...6	51	251,55	43,35	213,82	31	152,90	26,35	129,97
6...7	69	340,34	58,65	289,29	31	152,90	26,35	129,97
7...8	99	488,31	84,15	415,06	31	152,90	26,35	129,97
8...9	100	493,24	85	419,25	27	133,17	22,95	113,20
9...10	99	488,31	84,15	415,06	27	133,17	22,95	113,20
10...11	77	379,79	65,45	322,83	27	133,17	22,95	113,20
11...12	77	379,79	65,45	322,83	27	133,17	22,95	113,20
12...13	99	488,31	84,15	415,06	27	133,17	22,95	113,20
13...14	89	438,98	75,65	373,14	27	133,17	22,95	113,20
14...15	89	438,98	75,65	373,14	27	133,17	22,95	113,20
15...16	77	379,79	65,45	322,83	27	133,17	22,95	113,20
16...17	84	414,32	71,4	352,17	27	133,17	22,95	113,20
17...18	84	414,32	71,4	352,17	31	152,90	26,35	129,97
18...19	73	360,07	62,05	306,06	31	152,90	26,35	129,97
19...20	73	360,07	62,05	306,06	31	152,90	26,35	129,97
20...21	61	300,88	51,85	255,74	31	152,90	26,35	129,97
21...22	61	300,88	51,85	255,74	31	152,90	26,35	129,97
22...23	39	192,36	33,15	163,51	31	152,90	26,35	129,97
23...24	39	192,36	33,15	163,51	31	152,90	26,35	129,97
		8123,66		6905,11		3492,14		2968,32

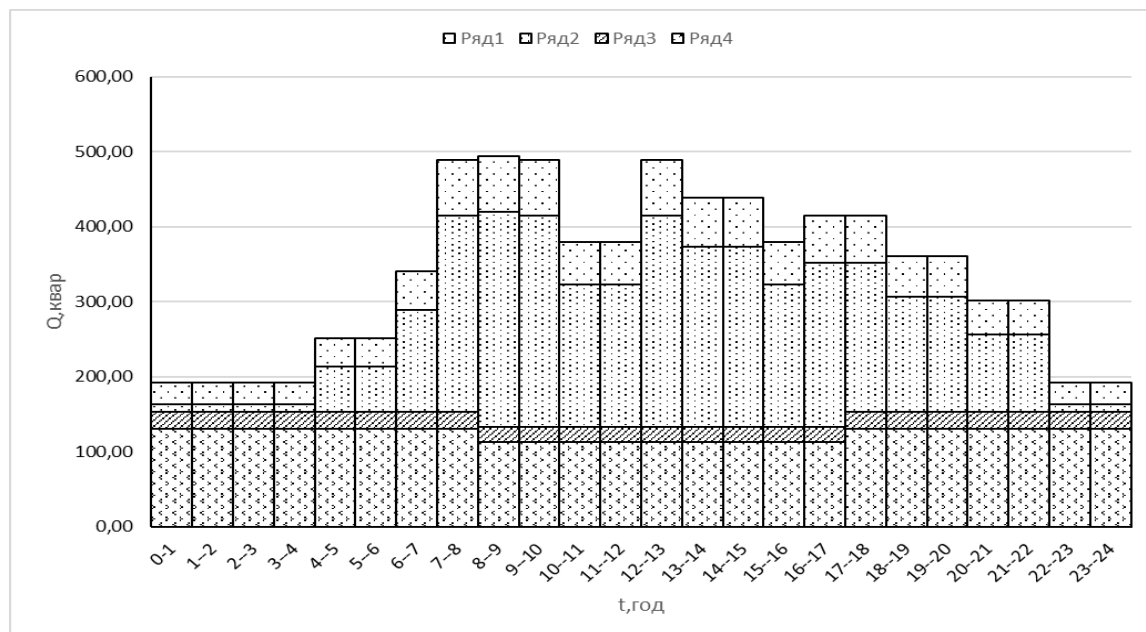


Рис. 1.3 - Добові графіки реактивного навантаження ШФ: 1, 2 – робочі дні (зимовий та літній періоди); 3, 4 – вихідні дні (зимовий та літній періоди), з врахуванням компенсації РП

Добовий графік повної потужності ШФ розраховується за формулою (1.2), дані розрахунків наведено в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Вихідні дані для побудови добового графіку повної потужності ШФ

$t, \text{год}$	$S_{з.р.}, \text{кВА}$	$S_{л.р.}, \text{кВА}$	$S_{з.в.}, \text{кВА}$	$S_{л.в.}, \text{кВА}$	$t, \text{год}$	$S_{з.р.}, \text{кВА}$	$S_{л.р.}, \text{кВА}$	$S_{з.в.}, \text{кВА}$	$S_{л.в.}, \text{кВА}$
0...1	2027,26	1723,17	1655,31	1407,01	12...13	3419,69	4520,26	1435,88	1220,50
1...2	2027,26	1723,17	1655,31	1407,01	13...14	4769,24	4053,85	1435,88	1220,50
2...3	2027,26	1723,17	1655,31	1407,01	14...15	4657,14	3958,57	1435,88	1220,50
3...4	2027,26	1723,17	1655,31	1407,01	15...16	4179,81	3552,83	1435,88	1220,50
4...5	2729,86	2320,38	1655,31	1407,01	16...17	4587,40	3899,29	1435,88	1220,50
5...6	2729,86	2320,38	1655,31	1407,01	17...18	4587,40	3899,29	1655,31	1407,01
6...7	3671,97	3121,18	1655,31	1407,01	18...19	3960,26	3366,22	1655,31	1407,01
7...8	5317,96	4520,26	1655,31	1407,01	19...20	3960,26	3366,22	1655,31	1407,01
8...9	5489,21	4665,83	1435,88	1220,50	20...21	3324,91	2826,17	1655,31	1407,01
9...10	5317,96	4520,26	1435,88	1220,50	21...22	3324,91	2826,17	1655,31	1407,01
10...11	4179,81	3552,83	1435,88	1220,50	22...23	2027,26	1723,17	1655,31	1407,01
11...12	4065,81	3455,94	1435,88	1220,50	23...24	2027,26	1723,17	1655,31	1407,01

В роботі також виконано побудову річного графіка за тривалістю активної потужності, який є основою для визначення часу найбільших втрат та розрахунку техніко-економічних показників проєкту. Загальний вигляд графіка наведено на рис. 1.4.

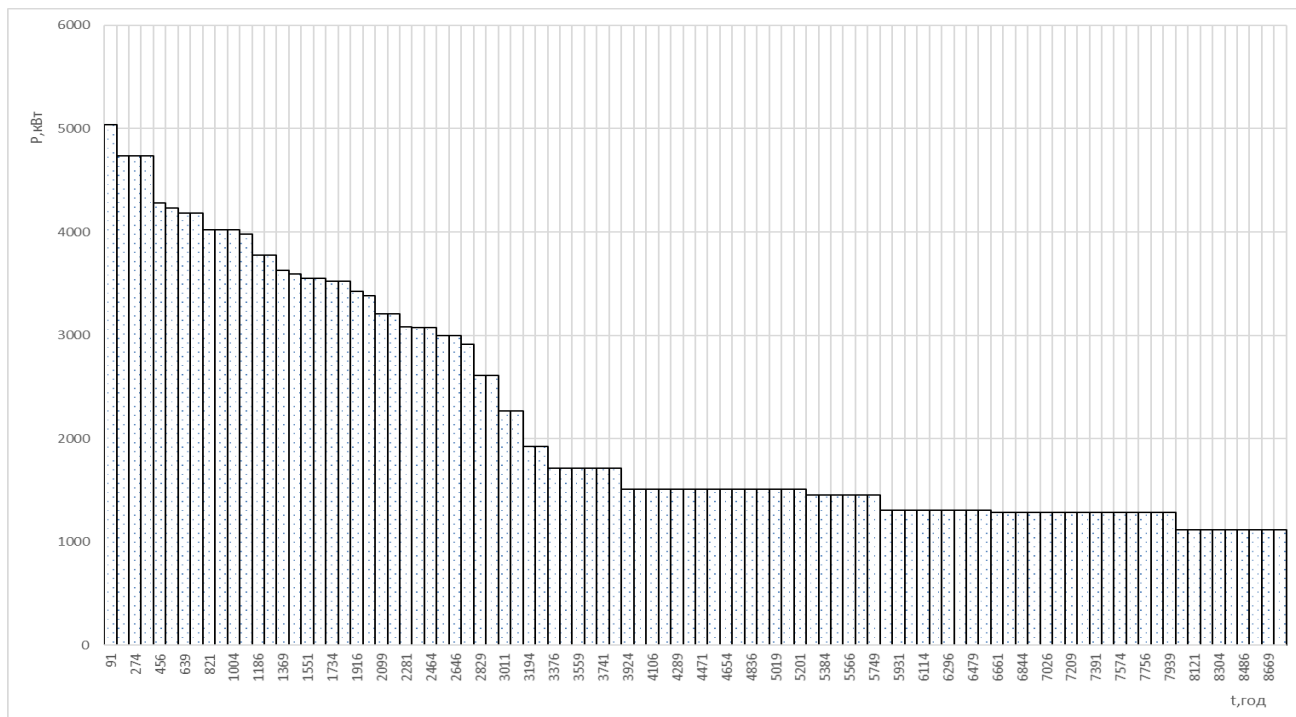


Рис. 1.4 - Річний графік за тривалістю для ШФ по активній потужності

На основі побудованих добових графіків визначаються сумарні річні витрати активної $W_{p.a.}$ та реактивної $W_{p.p.}$ електроенергії підприємства. Розрахунок виконується з урахуванням календарної тривалості різних характерних періодів року (сумарно 365 діб):

- зимовий період: 147 робочих та 65 вихідних діб;
- літній період: 105 робочих та 48 вихідних діб.

Річний обсяг споживання електроенергії розраховується як сума добових витрат для кожного режиму, помножена на відповідну кількість діб за формулами:

$$W_{p.a.} = \sum (P_i \cdot t_i) = 56062,74 \cdot 147 + 47653,33 \cdot 105 + 23800,56 \cdot 65 + 20230,48 \cdot 48 = 15759112,92 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

$$V_{p.p.} = \sum (Q_i \cdot t_i) = 8123,66 \cdot 147 + 6905,11 \cdot 105 + 3492,14 \cdot 65 + 2968,32 \cdot 48 = 2888683,66 \text{ квар} \cdot \text{год.}$$

Час T_m , протягом якого використовується максимальне навантаження:

$$T_m = \frac{\sqrt{W_{p.}^2 + V_{p.}^2}}{S_{p.}} = \frac{\sqrt{(15759112,92^2 + 2888683,66^2)}}{3634,32} = 4381,683 \text{ год.}$$

Час найбільших втрат:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_m}{10^4} \right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{4381,683}{10^4} \right)^2 \cdot 8760 = 2768,451 \text{ год.}$$

У цьому розділі було визначено розрахункові електричні навантаження як для окремих підрозділів, так і для підприємства загалом. Побудовані добові та річні графіки електричних навантажень дозволили визначити ключові енергетичні показники. Отримані результати є базою для подальшого вибору силових цехових трансформаторів, розрахунку систем компенсації реактивної потужності та проектування високовольтної живильної мережі підприємства.

						Арк.
						31

2 КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ШВЕЙНОЇ ФАБРИКИ ТА ВИБІР МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ЦРП ТА ТП

Картограма електричних навантажень (КЕН) швейної фабрики дозволяє визначити оптимальне місце розташування центрального розподільного пункту (ЦРП) та цехових трансформаторних підстанцій максимально наближено до центру їхніх електричних навантажень. Це, своєю чергою, дозволяє зменшити довжину живильних кабельних ліній, знизити втрати електроенергії в мережі підприємства та підвищити загальну техніко-економічну ефективність системи електропостачання.

Користуючись розрахунковими навантаженнями підрозділів фабрики (які були визначені у розділі 1), для кожного цеху чи відділення визначається радіус кола, площа якого пропорційна сумарному активному розрахунковому навантаженню (силовому та освітлювальному). Частка освітлювального навантаження виділяється окремим сектором цього кола.

Детальний розрахунок параметрів картограми наведемо на прикладі експериментального швейного цеху.

Радіус кола визначається за формулою:

$$R_{\text{еиц.}} = \sqrt{(P_{\text{р.еиц.}} + P_{\text{осв.еиц.}}) / (\pi \cdot m)} = \sqrt{(98,515 + 8,77) / (\pi \cdot 10)} = 1,85 \text{ см}$$

де $m=10$ - масштаб картограми, який обирається з урахуванням зручності побудови на генеральному плані фабрики, кВт/см².

- значення кута сектора, що відповідає освітлювальному навантаженню ЕШЦ:

$$\alpha_{\text{джу.}} = \frac{360 \cdot P_{\text{осв.еиц.}}}{P_{\text{заг.еиц.}}} = \frac{360 \cdot 8,77}{107,29} = 29,44^{\circ}.$$

Аналогічні розрахунки виконуються для всіх інших підрозділів підприємства. Результати обчислень заносяться до таблиці 2.1.

						Арк.
						32

Таблиця 2.1 – Визначення умовного центру електричних навантажень ШФ

n/p	Назва підрозділу	$P_{p.i.}$, кВт	$P_{осв.i.}$, кВт	$P_{заг.i.}$, кВт	X_i , м	Y_i , м	a	R , см	$P_{заг.i} \cdot X_i$, м	$P_{заг.i} \cdot Y_i$, м
1	Експериментальний швейний цех	98,515	8,77	107,29	394	68	29,44	1,85	42271,72	7295,63
2	Центральний корпус									
2.1	Розкрийно-підготовчий комплекс	741,75	39,42	781,17	101	48	18,17	4,99	78898,6	37496,4
2.2	Цех пошиття №1	714,20	46,59	760,79	207	48	22,05	4,92	157483,9	36518,0
2.3	Цех пошиття №2	648,30	55,55	703,85	396	48	28,41	4,73	278725,4	33784,9
2.4	Цех виробництва утеплювачів	103,02	1,03	104,05	155	49	3,57	1,82	16128,1	5098,6
2.5	Цех переробки та сортування відходів	34,20	7,31	41,51	450	32	63,41	1,15	18680,1	1328,4
2.6	Лабораторія контролю якості	4,97	2,28	7,25	155	35	113,43	0,48	1124,0	253,8
2.7	Дільниця шовкографії та термодруку	3,84	0,97	4,81	155	54	72,44	0,39	745,4	259,7
3	Столова	147,61	2,46	150,07	402	215	5,90	2,19	60326,8	32264,3
4	АПК	220,00	36,48	256,48	469,5	202	51,20	2,86	120417,4	51809,0
5	Котельня	564,80	5,83	570,63	204	246	3,68	4,26	116409,1	140375,7
6	Головний склад	10,29	0,86	11,15	172	142	27,78	0,60	1917,3	1582,9
7	Служба головного механіка	75,87	6,77	82,64	102	140	29,51	1,62	8429,2	11569,5
8	Склад	10,80	0,59	11,40	198	138	18,68	0,60	2256,3	1572,6
9	Навчально-виробничий комплекс	30,21	2,30	32,51	76,5	145	25,51	1,02	2487,2	4714,2
10	Прохідна	1,76	0,18	1,95	362	130	34,06	0,25	705,3	253,3
11	Транспортно-логістичний відділ	51,65	3,01	54,66	98	220	19,83	1,32	5356,3	12024,3
	Всього по фабриці			3682,208					912362,0	378201,0

Наступним етапом є визначення координат центру електричних навантажень (ЦЕН) підприємства. Розрахунок виконується за принципом знаходження центру мас плоских фігур на генеральному плані:

$$x_0 = \sum_{i=1}^n x_i \cdot P_i / \sum_{i=1}^n P_i; \quad (2.1)$$

$$y_0 = \sum_{i=1}^n y_i \cdot P_i / \sum_{i=1}^n P_i, \quad (2.2)$$

де $n=17$ - загальна кількість цехів та підрозділів фабрики;

X_i, Y_i – координати центру i -го приміщення на плані, м;

P_i – загальне розрахункове активне навантаження i -го приміщення, кВт.

Координати ЦЕН швейної фабрики:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n x_i \cdot P_{\text{заг.}i} &= 394 \cdot 107,29 + 101 \cdot 781,17 + 207 \cdot 760,79 + 396 \cdot 703,85 + 155 \cdot 104,05 + \\ &+ 450 \cdot 41,51 + 155 \cdot 7,25 + 155 \cdot 4,81 + 402 \cdot 150,07 + 469 \cdot 256,48 + 204 \cdot 570,63 + \\ &+ 172 \cdot 11,15 + 102 \cdot 82,64 + 198 \cdot 11,4 + 76,5 \cdot 32,51 + 362 \cdot 1,95 + 98 \cdot 54,66 = \\ &= 912362,0 \text{ м} \cdot \text{кВт} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n y_i \cdot P_{\text{заг.}i} &= 68 \cdot 107,29 + 48 \cdot 781,17 + 48 \cdot 760,79 + 48 \cdot 703,85 + 49 \cdot 104,05 + \\ &+ 32 \cdot 41,51 + 35 \cdot 7,25 + 54 \cdot 4,81 + 215 \cdot 150,07 + 202 \cdot 256,48 + 246 \cdot 570,63 + \\ &+ 142 \cdot 11,15 + 140 \cdot 82,64 + 138 \cdot 11,4 + 145 \cdot 32,51 + 130 \cdot 1,95 + 220 \cdot 54,66 = \\ &= 378201,0 \text{ м} \cdot \text{кВт} \end{aligned}$$

$$X_0 = \frac{912362,0}{3682,208} = 247,8 \text{ м};$$

$$Y_0 = \frac{378201,0}{3682,208} = 102,7 \text{ м}.$$

Координати умовного ЦЕН $x_0 = 247,8 \text{ м}$, $y_0 = 102,7 \text{ м}$. Отримані координати вказують на теоретичний центр електричних навантажень. При реальному проєктуванні розташування ЦРП доцільно дещо змістити від знайденого центру у бік джерела живлення, а також з урахуванням архітектурно-будівельних обмежень території фабрики.

						Арк.
						34

З ВИБІР НАПРУГИ ЖИВЛЕННЯ ШВЕЙНОЇ ФАБРИКИ ТА СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Для забезпечення надійного та ефективного електропостачання швейної фабрики, яка розташована на відстані 2,3 км від підстанції енергосистеми 35/10 кВ, розглядаються два варіанти зовнішнього живлення. Оскільки підприємство має споживачів другої категорії надійності та планує подальше розширення виробництва, обидва варіанти передбачають дволанцюгове резервоване живлення.

Оптимальне проєктне рішення визначається шляхом техніко-економічного порівняння приведених витрат за кожним із розглянутих варіантів. Цільова функція розраховується за формулою:

$$\Pi_i = E_n \cdot K_i + C_i + C_{\text{втр},i} + Z_{\text{бі}},$$

де E_n - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень;

K_i - сумарні капітальні інвестиції у відповідний варіант схеми, тис. грн;

C_i - річні поточні (експлуатаційні та амортизаційні) витрати на передачу та розподіл електроенергії, тис. грн/рік;

$C_{\text{втр},i}$ - річна вартість втрат електроенергії в елементах мережі, тис. грн/рік;

$Z_{\text{бі}}$ - очікувані економічні збитки підприємства від перерв в електропостачанні, тис. грн/рік.

У першому варіанті електропостачання фабрики здійснюється двома кабельними лініями (КЛ) напругою $U_{\text{ном}} = 10$ кВ від шин 10 кВ ПС на відстані 2,3 км, із встановленням на території фабрики центрального розподільного пункту (ЦРП-10 кВ).

У другому варіанті пропонується здійснювати живлення двома кабельними лініями напругою $U_{\text{ном}} = 35$ кВ від шин 35 кВ ПС, із встановленням головної знижувальної підстанції (ГЗП 35/10 кВ) безпосередньо на підприємстві.

Порівняння варіантів живлення виконується згідно з техніко-економічною методикою [1], що дозволяє вибрати оптимальний варіант електропостачання з урахуванням сучасних тарифів, енергоефективності, надійності та капітальних

						Арк.
						35

вартостей.

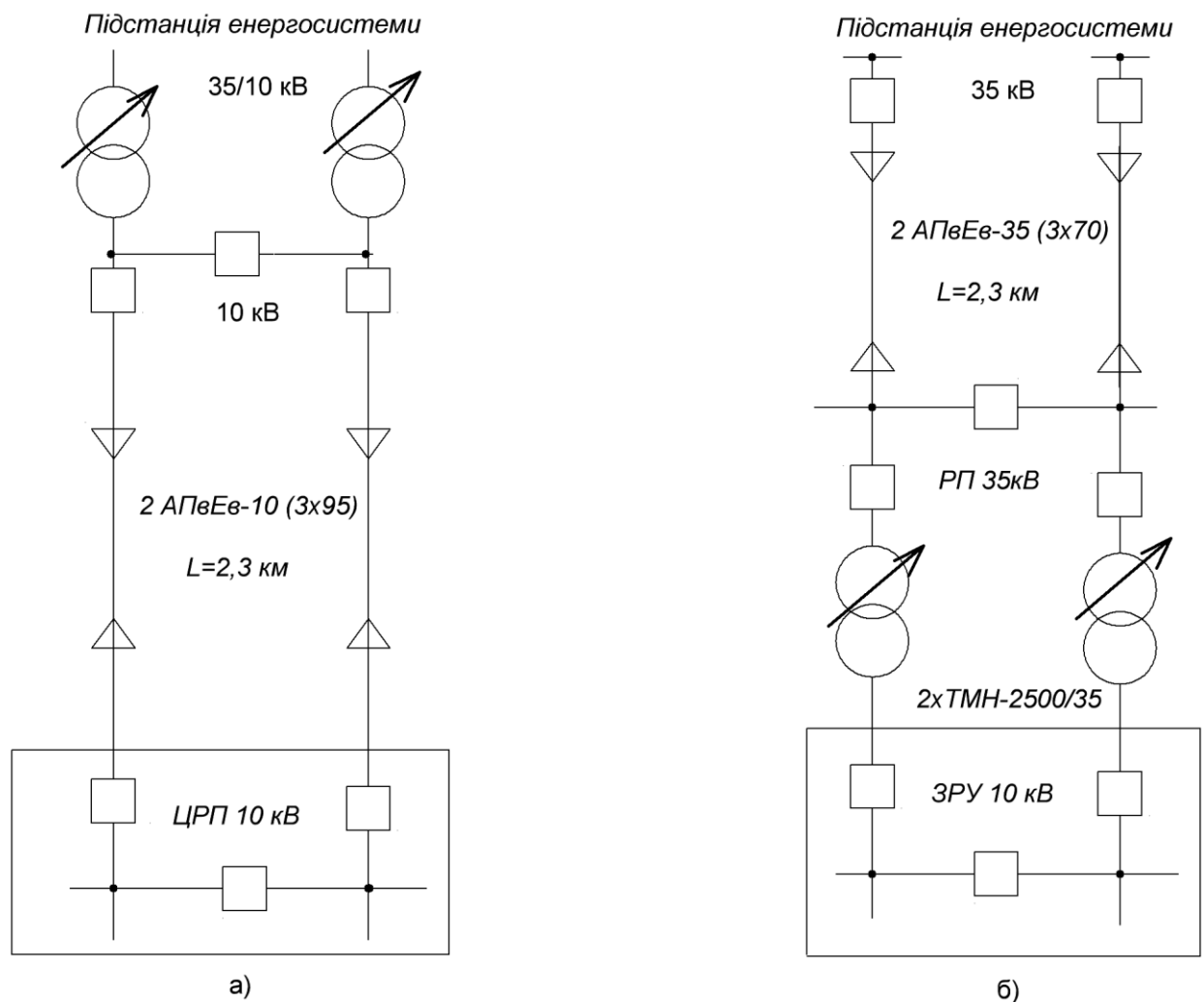


Рис. 3.1 – Живлення швейної фабрики: а) напругою $U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$ з встановленням ЦРП 10 кВ; б) напругою $U_{\text{ном}} = 35 \text{ кВ}$ з встановленням ГЗП 35/10 кВ

Виконуємо розрахунок для варіанту 1. Струм у кабельній лінії 10 кВ (на один ланцюг у нормальному режимі):

$$I_{p.kl} = \frac{S_{p.ш.}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{3634,32}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 99,92 \text{ А.}$$

До прокладання приймаємо сучасний кабель з ізоляцією зі зшитого поліетилену марки АПвЕВ-10 (3х95), який має високу надійність та стійкість до струмів КЗ [8]. Допустимий струм кабелю становить $I_{\text{доп}} = 203 \text{ А}$. Питомі втрати потужності $\Delta p_0 = 46 \text{ кВт/км}$.

Перевірка в нормальному та післяаварійному режимах:

$$I_p \leq k_n \cdot I_{тр.доп.};$$

$$I_{п.ав.} = 2 \cdot I_p \leq k'_n \cdot k_{ав.п} I_{тр.доп.};$$

$$99,92 A \leq 0,92 \cdot 203 = 186,76 A; \quad 2 \cdot 99,92 = 199,84 A \leq 1,25 \cdot 0,9 \cdot 203 = 228,375 A.$$

Кабель повністю задовольняє умови надійної роботи. Коефіцієнт завантаження кабельної лінії в нормальному режимі:

$$k_3 = \frac{I_p}{I_{доп.}} = \frac{99,92}{203} = 0,492.$$

Річні втрати потужності та енергії у двох КЛ:

$$\Delta P_{кл10} = \Delta p_{0кл} \cdot n \cdot l \cdot k_3^2 = 46 \cdot 2 \cdot 2,3 \cdot 0,492^2 = 51,22 \text{ кВт};$$

$$\Delta E_{кл10} = \Delta P_{кл10} \cdot \tau_{\max} = 51,22 \cdot 2768,451 = 141802,12 \text{ кВт·год};$$

$$C_{втр.І} = C_{втр.10} = \Delta E_{кл.10} \cdot C_0 = 141802,12 \cdot 13,2 \cdot 10^{-3} = 1873,358 \text{ тис.грн.}$$

Для другого варіанту (рис.3.2), розраховуємо струм у кабельній лінії 35 кВ:

$$I_{п.кл.35} = \frac{S_{р.ш.}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{3634,32}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 35} = 29,97 A.$$

Приймаємо кабель АПвЕВ-35 (3х70) [8], допустимий струм кабелю становить $I_{доп} = 180 A$. Питомі втрати потужності $\Delta p_0 = 18,5 \text{ кВт/км}$.

Перевірка в нормальному та післяаварійному режимах:

$$I_p \leq k_n \cdot I_{тр.доп.};$$

$$I_{п.ав.} = 2 \cdot I_p \leq k'_n \cdot k_{ав.п} I_{тр.доп.};$$

$$29,97 A \leq 0,92 \cdot 180 = 165,6 A; \quad 2 \cdot 29,97 = 59,94 A \leq 1,25 \cdot 0,9 \cdot 180 = 202,5 A.$$

Виконуються умови надійної роботи. Коефіцієнт завантаження КЛ 35 кВ в нормальному режимі:

$$k_3 = \frac{I_p}{I_{доп.}} = \frac{29,97}{180} = 0,167.$$

						Арк.
						37

Втрати потужності та енергії у КЛ-35 кВ:

$$\Delta P_{\text{кл}35} = \Delta p_{0\text{кл}} \cdot n \cdot l \cdot k_z^2 = 18,5 \cdot 2 \cdot 2,3 \cdot 0,167^2 = 2,36 \text{ кВт};$$

$$\Delta E_{\text{кл}35} = \Delta P_{\text{кл}35} \cdot \tau_{\text{max}} = 2,36 \cdot 2768,451 = 6533,57 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Для забезпечення стабільного та надійного електропостачання об'єкта проєктним рішенням передбачено встановлення двох силових трансформаторів номінальною потужністю $S_n = 2,5 \text{ МВА}$. Відповідно до технічних умов, обрано трансформатори типу ТМН-2500/35, що характеризуються наступними паспортними параметрами: $I_{xx} = 1,3 \%$; $\Delta P_{xx} = 2,9 \text{ кВт}$; $\Delta P_{k3} = 16,5 \text{ кВт}$; $U_k = 6,5 \%$.

Розрахунковий коефіцієнт завантаження трансформаторів у штатному режимі експлуатації становить:

$$k_z = \frac{S_{p.\text{шф}}}{2 \cdot S_n} = \frac{3634,32}{2 \cdot 2500} = 0,727.$$

При виході з ладу або плановому вимкненні одного з силових трансформаторів, уся розрахункова потужність підприємства переводиться на трансформатор, що залишився в роботі. У такому післяаварійному режимі трансформатор функціонує з допустимим короточасним перевантаженням. Для підтримання стабільної роботи обладнання та дотримання меж допустимого перенавантаження передбачено автоматичне відключення частини споживачів III категорії (у обсязі 3,7% від загальної потужності), що не впливає на життєдіяльність основних технологічних ліній фабрики.

Розрахунок річних втрат активної потужності та електричної енергії в силових трансформаторах ГЗП здійснюється за наступними залежностями:

$$\Delta E_{\text{тр.шф}} = 2 \cdot (\Delta P_{xx} \cdot t_{\text{вкл}} + \Delta P_{k3} \cdot \tau \cdot K_z^2) = 2 \cdot (5,1 \cdot 8760 + 26 \cdot 2768,451 \cdot 0,727^2) = 165410,3 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Загалом по другому варіанту:

$$\Delta E_{\text{II}} = \Delta E_{\text{кл.35}} + \Delta E_{\text{тр.шф}} = 6533,57 + 165410,3 = 171943,85 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$C_{\text{втр. II}} = \Delta E_{\text{II}} \cdot C_o = 171943,85 \cdot 10,3 \cdot 10^{-3} = 1771,022 \text{ тис грн.}$$

						Арк.
						38

Наступним етапом є оцінка очікуваних економічних збитків підприємства, зумовлених імовірними перервами в електропостачанні. Розрахунок виконується на основі ймовірнісних методів згідно з методикою та довідковими показниками надійності обладнання, що наведені у джерелах [1, 4].

Для першого варіанта зовнішнього електропостачання розрахункова схема враховує показники надійності кабельної лінії та вимикача напругою 10 кВ. Для другого варіанта комплексний розрахунок виконується для ланцюга, що включає кабельну лінію електропередачі напругою 35 кВ, високовольний вимикач 35 кВ та силовий знижувальний трансформатор 35/10 кВ. Поетапні результати обчислень зведено до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Визначення економічних збитків від перерв в електропостачанні швейної фабрики

Розрахунковий параметр	I варіант	II варіант
λ_{a1} , 1/рік; $T_{в1}$, рік	0,02; 0,02	0,04; 0,024
λ_{a2} , 1/рік; $T_{в2}$, рік	0,0575; 0,09	0,115; 0,013
λ_{a3} , 1/рік; $T_{в3}$, рік	-	0,018; 0,9
$\lambda_a = \sum_1^n \lambda_{ai}$, 1/рік	0,0775	0,173
$T_{\sigma} = \frac{\sum \lambda_{ai} \cdot T_{\sigma i}}{\lambda_a}$, рік	0,0719	0,1078
$K_{\Pi} = 1,2 \cdot K_{\Pi\Pi}$, в.о.	$3,24 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$
$K_a = \lambda_a \cdot T_{\sigma}$, в.о.	$5,575 \cdot 10^{-3}$	$18,655 \cdot 10^{-3}$
$K_{ап} = 0,5 \cdot \lambda_a \cdot K_{\Pi}^2$, в.о.	$0,407 \cdot 10^{-6}$	$3,11 \cdot 10^{-6}$
$K_a^{(2)} = K_a^2 + 2 \cdot K_{ап}$, в.о.	$0,319 \cdot 10^{-6}$	$0,354 \cdot 10^{-3}$
$T_a = K_a^{(2)} \cdot 8760$, в.о.	0,2794	3,1031
$P_{cp} = \frac{P_p \cdot T_{\max}}{8760}$, кВт	1801,037	
$Z_{\sigma} = Z_{\sigma.o.} \cdot P_{cp} \cdot T_a \cdot 10^{-3}$, тис.грн.	12,58	139,72

Наступним кроком є визначення обсягу капітальних інвестицій, необхідних для реалізації кожного з запропонованих варіантів схем електропостачання. Детальний перелік необхідного обладнання, його специфікація та ринкова вартість наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Капітальні інвестиції у варіанти схем живлення швейної фабрики

Вар.	Найменування елементів схеми	К-ть	Вартість 1 шт/км, тис. грн	Всього, тис. грн (K_i)
I	Комірки з вакуумними вимикачами 10 кВ	2 шт.	185	370
	КЛ АПвЕВ-10 (3х95) в траншеї	4,6 км.	550	2530
	Всього			2900
II	КЛ АПвЕВ-35 (3х70) в траншеї	4.6 км	600	2760
	РП-35 кВ	1 шт.	1250	1250
	Трансформатори ТМН-2500/35	2 шт.	980	1960
	Всього			5970

Для оцінки щорічних поточних витрат на утримання мережі проведено укрупнений розрахунок за двома основними складовими: амортизаційними відрахуваннями та витратами на технічне обслуговування (експлуатацію). Результати цих обчислень представлено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3- Розрахунок щорічних поточних витрат для порівнюваних варіантів

Вар.	Елемент схеми	K_i , тис. грн	Норма $H_{ам+екс}$, %	Витрати C_i , тис. грн
I	Шафи 10 кВ	370	0,2	74
	Кабельна лінія 10 кВ	2530	0,1	253
	Всього	2900		327
II	Кабельна лінія 35 кВ	2760	0,1	276
	РП 35 кВ	1250	0,2	250
	Трансформатори	1960	0,2	392
	Всього	5970		918

Цільова функція приведених витрат:

$$Пв_i = E_n \cdot K_i + C_i + C_{emp.i} + 3б_i;$$

$$P_{вI} = 0,12 \cdot 2900 + 327 + 1873,4 + 12,6 = 2560,9 \text{ тис.грн};$$

$$P_{вII} = 0,12 \cdot 5970 + 918 + 1771,0 + 139,7 = 3545,1 \text{ тис.грн.}$$

Підсумкове порівняння техніко-економічних показників за обома варіантами (капіталовкладення, експлуатаційні витрати, вартість втрат енергії та ймовірні збитки) зведено до узагальнюючої таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 - Зведені техніко-економічні показники варіантів схем електропостачання

№ вар.	K_i	C_i	$C_{втр.i}$	$Зб_i$	$P_{вi}$
I	2900	327	1873,4	12,6	2560,9
II	5970	918	1771,0	139,7	3545,1

Остаточний вибір схеми зовнішнього електропостачання швейної фабрики базується на комплексному технічному аналізі, порівнянні приведених витрат та оцінці надійності запропонованих рішень. Аналіз результатів показав, що перший варіант (прокладання кабельних ліній 10 кВ із встановленням ЦРП) забезпечує оптимальне співвідношення між капітальними витратами та надійністю живлення в довгостроковій перспективі. Враховуючи суттєво менші приведені витрати та високу енергоефективність системи, до подальшої реалізації у проєкті прийнято I-й варіант із встановленням центрального розподільного пункту (ЦРП) на території підприємства.

Для забезпечення раціонального розподілу електричної енергії на території швейної фабрики прийнято систему двоступеневої трансформації. Для внутрішньомайданчикової передачі потужності від центрального розподільного пункту до цехових трансформаторних підстанцій обрано напругу 10 кВ. Це дозволяє мінімізувати втрати напруги та потужності в магістральних лініях при значних відстанях між корпусами.

Безпосереднє живлення технологічного обладнання, систем освітлення та допоміжних установок здійснюється на напрузі 0,4 кВ. Вибір даного рівня напруги обґрунтований наступними факторами: можливістю використання стандартного серійного низьковольтного обладнання та типових розподільних

пристроїв; економічною доцільністю при живленні основної маси споживачів швейного виробництва, одинична потужність яких переважно не перевищує 100 кВт; безпекою та простотою технічного обслуговування внутрішньоцехових мереж.

З урахуванням розосередженого характеру навантажень та наявності різних категорій споживачів, для швейної фабрики обрано змішану схему внутрішнього електропостачання, яка поєднує в собі переваги радіальних та магістральних мереж. Радіальна схема застосовується для найбільш відповідальних електроприймачів, що потребують високого ступеня надійності та можливості швидкого введення резерву (АВР). До таких споживачів на фабриці належать: автоматизовані розкрійні комплекси; установки пожежогасіння та насоси внутрішнього протипожежного водопроводу; серверне обладнання та вузли керування автоматизованими системами; аварійне освітлення цехів.

Магістральна схема використовується для живлення груп технологічного обладнання (швейних ліній), що розміщені компактно в межах одного прольоту цеху. Це дозволяє суттєво скоротити витрати кабельно-провідникової продукції та спростити конфігурацію розподільних щитів.

Таким чином, впровадження змішаної схеми напругою 0,4 кВ забезпечує необхідну гнучкість системи електропостачання, дозволяючи поєднувати високу надійність живлення критичних вузлів із економічною ефективністю розподілу енергії між масовими споживачами.

						Арк.
						42

4 КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ШВЕЙНОЇ ФАБРИКИ

4.1 Баланс реактивної потужності швейної фабрики та вибір компенсуючих пристроїв

Прийняття технічних рішень щодо розподілу компенсуючих пристроїв у мережах напругою 10 кВ та 0,4 кВ ґрунтується на техніко-економічному аналізі. При цьому враховуються капітальні витрати на придбання та монтаж батарей статичних конденсаторів (БСК), вартість втрат електроенергії в елементах мережі, а також витрати на встановлення додаткових трансформаторних підстанцій та комутаційної апаратури.

Згідно з методикою [1], до розгляду приймаються три варіанти конфігурації системи:

- варіант із мінімально необхідною кількістю цехових трансформаторів;
- варіант зі збільшенням кількості трансформаторів на одну одиницю;
- варіант зі збільшенням кількості трансформаторів на дві одиниці.

Початковим етапом розрахунку є визначення величини реактивної потужності, яка передається від енергосистеми в мережу підприємства. Для споживачів даного класу розрахункове значення показника $tg\varphi_c = 0,15$.

$$Q_c = P_{p.10.гк} \cdot tg\varphi_c = 3600,69 \cdot 0,15 = 540,10 \text{ квар.}$$

Мінімально необхідна кількість трансформаторів (n_{min}), що забезпечує живлення навантаження 0,4 кВ з урахуванням оптимального коефіцієнта завантаження ($k_z = 0,7$):

$$n_{min.шф} = P_{p.0,4.гк} / (K_z \cdot S_{TP.гк}) = 3550,71 / (0,7 \cdot 630) = 8,165 \text{ шт.}$$

На основі отриманого результату, до подальшого проєктування та розрахунку балансу реактивної потужності приймаємо 9 трансформаторів потужністю 630 кВА кожен.

						Арк.
						43

Для першого (базового) варіанта конфігурації мережі, що передбачає встановлення 9 цехових трансформаторів, визначаємо максимальну реактивну потужність, яку економічно доцільно передати в мережу 0,4 кВ:

$$Q_{п1} = \sqrt{(n \cdot S_{mp} \cdot k_3)^2 - P_{p,0,4}^2} = \sqrt{(9 \cdot 630 \cdot 0,7)^2 - 3600,69^2} = 1669,73 \text{ квар.}$$

Необхідна встановлена потужність низьковольтних батарей статичних конденсаторів (БСК) у мережі 0,4 кВ визначається як різниця між загальним розрахунковим реактивним навантаженням та потужністю, що передається через трансформатори:

$$Q_{ку\ 0,4} = Q_n - Q_{п1} = 3751,27 - 1669,73 = 2081,54 \text{ квар.}$$

З огляду на номінальні шкали потужностей серійного конденсаторного обладнання, приймаємо до встановлення низьковольтні БСК сумарною потужністю $Q_{ку,0,4,ст} = 2150$ квар. Ця потужність розподіляється між цеховими підстанціями за допомогою типових модулів (наприклад: 4 x 300 квар, 2 x 200 квар, 4 x 100 квар та 3 x 50 квар).

Фактичне значення реактивної потужності, що передаватиметься через трансформатори після низьковольтної компенсації:

$$Q'_п = Q_n - Q_{ку,0,4,ст} = 3751,27 - 2150 = 1601,27 \text{ квар.}$$

Потужність високовольтних компенсуючих пристроїв для встановлення в розподільній мережі 10 кВ визначається з урахуванням реактивної потужності, яку забезпечує енергосистема (Q_c):

$$Q_{ку,10} = Q_{р,10} - Q_{ку,0,4,ст} - Q_{сист.} = 4143,24 - 2150 - 540,10 = 1453,14 \text{ квар.}$$

Остаточно для компенсації на стороні 10 кВ (у ЦРП) обираємо дві автоматизовані високовольтні конденсаторні установки загальною потужністю 1500 квар: 2 x УКРМ 10,5 - 750-(5x150) - УЗ.

Визначаємо активну потужність, що витрачається у низьковольтних та високовольтних БСК:

						Арк.
						44

$$\Delta P_{\text{ку.0,4}} = Q_{\text{ку.0,4}} \cdot \Delta P_{\text{пит.0,4}} = 2150 \cdot 0,0045 = 9,675 \text{ кВт.}$$

$$\Delta P_{\text{ку.10}} = Q_{\text{ку.10}} \cdot \Delta P_{\text{пит.10}} = 1500 \cdot 0,003 = 4,5 \text{ кВт.}$$

У цехових трансформаторних підстанціях (від передачі залишку реактивної потужності):

$$\Delta P_{\text{тп}} = (Q_{\text{п}}')^2 \cdot R_{\text{екв}} / U_{\text{ном.}}^2 = 1601,27^2 \cdot 212,76 \cdot 10^{-6} / 10^2 = 5,45 \text{ кВт,}$$

$$\text{де } R_{\text{екв}} = (\Delta P_{\text{кз}} \cdot U_{\text{ном.}}^2) / (N_{\text{тр}} \cdot S_{\text{ном. тр.}}^2) = (7,6 \cdot 10^2) / (9 \cdot 630^2) = 212,76 \cdot 10^{-6} \text{ кОм.}$$

Визначаємо капітальні інвестиції на встановлення конденсаторних батарей та КТП:

$$K_{\text{ку.0,4}} = \sum n_{\text{ку.0,4.i}} \cdot K_{\text{ку0,4.i}} = 4 \cdot 154,75 + 2 \cdot 116,388 + 4 \cdot 70,596 + 3 \cdot 55,226 = \\ = 1299,84 \text{ тис. грн;}$$

$$K_{\text{ку.10.}} = \sum n_{\text{ку.10.i}} \cdot K_{\text{ку10.i}} = 2 \cdot 1425,3 = 2850,6 \text{ тис. грн;}$$

$$K_{\text{кТП}} = n_{\text{тп(1)}} \cdot K_{\text{тп(1)}} + n_{\text{тп(2)}} \cdot K_{\text{тп(2)}} = 1 \cdot 397 + 4 \cdot 710 = 3237 \text{ тис. грн.,}$$

Підсумкові приведені витрати на компенсацію реактивної потужності за першим варіантом:

$$Z_{\text{ікрп}} = E_{\text{ном.}} \cdot (K_{\text{кТП}} + K_{\text{ку.10.}} + K_{\text{ку.0,4}}) + (\Delta P_{\text{ку.10.}} + \Delta P_{\text{ку.0,4.}} + \Delta P_{\text{кТП}}) \cdot C_0 \cdot \tau_{\text{max}} = \\ = 0,12 \cdot (3237 + 2850,6 + 1299,84) + (4,5 + 9,675 + 5,45) \cdot 13,2 \cdot 10^{-3} \cdot 2768,451 = \\ = 1215,73 \text{ тис. грн.}$$

Для другого (зі збільшеною до 10 одиниць кількістю трансформаторів) та третього (11 трансформаторів) варіантів розміщення компенсуючих пристроїв виконуються аналогічні розрахунки перетікань потужності, втрат та вартості обладнання. Результати проміжних обчислень потужностей БСК зведено до таблиці 4.1, а підсумкові техніко-економічні показники - до таблиці 4.2.

На основі отриманих техніко-економічних показників остаточно до реалізації приймаємо перший варіант проектного рішення (встановлення 9 трансформаторів), оскільки він характеризується мінімальними приведеними витратами.

						Арк.
						45

Таблиця 4.1- Розподіл потужностей компенсуючих пристроїв за варіантами

Вар.	$n_{TP}/S_{TP}, \text{кВА}$	$Q_{с.}, \text{квар}$	$Q'_{пф}, \text{квар}$	$Q_{ку 0,4 p}, \text{квар}$	$Q_{ку 0,4 ст}, \text{квар}$	$Q_{ку.10 p}, \text{квар}$	$Q_{ку.10 ст}, \text{квар}$
1	9/630	540,10	1601,27	2081,54	2150	1453,14	1500
2	10/630	540,10	2546,19	1205,07	1250	2353,14	2400
3	11/630	540,10	3250,73	500,54	650	2953,14	3000

Таблиця 4.2 – Визначення втрат потужності, вартості обладнання та приведених витрат

Вар.	$n_{TP}, \text{шт}$	$\Delta P_{ку.0,4}, \text{кВт}$	$\Delta P_{ку.10}, \text{кВт}$	$R_{екв}, \text{Ом}$	$\Delta P_{тп.гк}, \text{кВт}$	$K_{ку.0,4}, \text{тис. грн.}$	$K_{ку.10}, \text{тис. грн.}$	$K_{TP}, \text{тис. грн.}$	$3i, \text{тис. грн.}$
1	9	9,675	4,5	212,76	5,45	1299,84	2850,6	3237	1215,73
2	10	5,625	7,2	191,48	11,98	809,45	3115,8	3550	1706,37
3	11	2,925	9	174,07	16,74	340,18	3436,5	4018	1500,74

Вибрані за першим варіантом батареї статичних конденсаторів дозволяють отримати фактичний коефіцієнт реактивної потужності:

$$\operatorname{tg} \varphi_{\text{шф}} = \frac{Q_{p.\text{шф}}}{P_{p.\text{шф}}} = \frac{493,24}{3600,69} = 0,137 \leq \operatorname{tg} \varphi_c = 0,15.$$

Оскільки отримане значення $\operatorname{tg} \varphi_{\text{факт}}=0,137$ менше за нормативне $\operatorname{tg} \varphi=0,15$, необхідний рівень компенсації реактивної потужності для швейної фабрики забезпечено в повному обсязі.

4.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв 0,4 кВ

Наступним етапом після визначення загальної потужності компенсації є розрахунок одиничної потужності низьковольтних конденсаторних установок та їх розподіл між конкретними цеховими трансформаторними підстанціями. Детальний алгоритм обчислення наведемо на прикладі двотрансформаторної підстанції КТП-1.

Гранична реактивна потужність, яку економічно доцільно передати через трансформатори даної підстанції в мережу 0,4 кВ (при оптимальному коефіцієнті завантаження $K_3 = 0,7$):

						Арк.
						46

$$Q_{n.kmm1} = \sqrt{(n \cdot S_m \cdot K_{z.kmm1})^2 - P_{n.kmm1}^2} =$$

$$= \sqrt{(2 \cdot 630 \cdot 0,7)^2 - 791,9^2} = 388,35 \text{ квар};$$

$$Q_{\text{ку.0,4. ктп1}} = Q_n - Q_p = 960,97 - 388,35 = 572,62 \text{ квар.}$$

З урахуванням стандартної шкали потужностей виробників конденсаторного обладнання, приймаємо до встановлення на КТП-1 компенсуючі пристрої загальною потужністю $Q_{\text{ку.0,4. ктп1}} = 600$ квар. Для цього обираємо дві автоматизовані установки типу УКРМ 0,4-300/7-25 (по 300 квар кожна).

Для решти підстанцій фабрики (КТП-2...КТП-5) виконуються аналогічні розрахунки. Результати обчислень, обрані марки обладнання, а також залишкові значення повної потужності та фактичні коефіцієнти завантаження трансформаторів після компенсації зведено до таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Розподіл компенсуючих пристроїв 0,4 кВ по КТП ШФ

№ КТП	$n_{\text{тр}}$	$P_{\text{р.ктп.і}}$ кВт	$Q_{\text{р.ктп.і}}$, квар	$Q_{\text{пі}}$, квар	$Q_{\text{ку.розр.}}$, квар	$Q_{\text{ку.дійсн.}}$, квар
1	2	791,90	960,97	388,35	572,62	600
2	2	863,82	874,21	178,13	696,08	700
3	2	855,54	728,34	214,41	513,93	500
4	2	767,85	637,76	433,97	203,79	250
5	1	392,53	350,49	201,01	149,48	100

Продовження таблиці 4.3.

№ КТП	$n_{\text{бск}}$	Марка БСК	$Q_{\text{р.ктп і з ку}}$, квар	$S_{\text{р.ктп і з ку}}$, кВА	$K_{\text{з.ктп.і}}$
1	2	2хУКРМ 0,4-300/7-25	360,97	870,292	0,691
2	2	2хУКРМ 0,4-300/7-25; 1хУКРМ 0,4-100/4-10	174,21	881,217	0,699
3	2	2хУКРМ 0,4-200/6-20; 1хУКРМ 0,4-100/4-10	228,34	885,489	0,703
4	2	2хУКРМ 0,4-100/4-10; 1хУКРМ 0,4-50/10-4	387,76	860,203	0,683
5	1	1хУКРМ 0,4-100/4-10	250,49	465,639	0,739

5 ТРАНСФОРМАТОРНІ ПІДСТАНЦІЇ ШВЕЙНОЇ ФАБРИКИ

5.1 Вибір кількості, потужності та місця розташування цехових підстанцій швейної фабрики

Вибір місця розташування цехових трансформаторних підстанцій є критично важливим етапом, що безпосередньо впливає на техніко-економічні показники системи електропостачання швейної фабрики. Оптимальне розміщення вузлів живлення визначається на основі побудованої картограми електричних навантажень та їхнього просторового розподілу на генеральному плані підприємства.

У сучасних системах електропостачання промислових об'єктів застосовуються комплектні трансформаторні підстанції внутрішнього або зовнішнього виконання. Вибір між одно- та двотрансформаторними підстанціями базується на категорії надійності електропостачання споживачів. Оскільки більшість технологічних ліній швейної фабрики належить до другої категорії надійності, доцільним є використання двотрансформаторних ТП, які забезпечують необхідний рівень резервування та безперебійність виробничого циклу.

Визначення потужності цехових трансформаторів базується на сумарній розрахунковій потужності підрозділів із обов'язковим врахуванням нерівномірності графіків навантаження. Окрім забезпечення поточних потреб підприємства, проєктне рішення повинно передбачати певний резерв потужності для можливої модернізації технологічних ліній або розширення виробничих потужностей фабрики без докорінної перебудови системи електропостачання.

Сучасний підхід також передбачає пріоритетне використання енергоефективних трансформаторів із низьким рівнем втрат холостого ходу та короткого замикання, що дозволяє значно знизити експлуатаційні витрати протягом усього життєвого циклу обладнання.

Вибір номінальної потужності силових трансформаторів цехових ТП здійснюється з урахуванням умов систематичного навантаження в нормальному

						Арк.
						48

режимі та допустимого перевантаження в післяаварійному режимі. Передбачається встановлення 4-х двотрансформаторних підстанцій та 1-ї однострансформаторної. Детальний розрахунок наведемо на прикладі двотрансформаторної підстанції ТП-1 ($S_{p.тп1} = 913,22$ кВА).

Умова систематичного перевантаження (в нормальному режимі):

$$S_{\text{ном.сист}} \geq \frac{S_{p.тп1}}{n \cdot K_1} = \frac{913,22}{2 \cdot 1,08} = 422,79 \text{ кВА}$$

де $K_1 = 1,08$ – коефіцієнт, що враховує двозмінний графік роботи підприємства та еквівалентну температуру охолодження.

Умова аварійного перевантаження (при виході з ладу одного трансформатора):

$$S_{\text{ном.ав}} \geq \frac{K_{I,II} \cdot S_{p.тп1}}{(n - 1) \cdot K_2} = \frac{0,9646 \cdot 913,22}{(2 - 1) \cdot 1,4} = 629,21 \text{ кВА}$$

де $K_2 = 1,4$ - коефіцієнт допустимого аварійного перевантаження трансформатора на час ліквідації аварії; $K_{I,II} = 0,9646$ - частка навантаження споживачів I та II категорій надійності, що залишається в роботі після автоматичного відключення 3,54 % споживачів III категорії.

Згідно з отриманими розрахунковими значеннями, до встановлення приймаємо два трансформатори стандартної номінальної потужності $S_{\text{ном}} = 630$ кВА.

Перевіряємо фактичні коефіцієнти завантаження: у нормальному режимі роботи та в аварійному режимі роботи (після відключення частини невідповідальних споживачів):

$$K_{3.\text{ном}} = \frac{S_{p.тп1}}{n \cdot S_{\text{ном}}} = \frac{913,22}{2 \cdot 630} = 0,72$$

$$K_{3.\text{ав}} = \frac{K_{I,II} \cdot S_{p.тп1}}{1 \cdot S_{\text{ном}}} = \frac{0,9646 \cdot 913,22}{630} = 1,40 \leq 1,4$$

Умови надійної роботи обладнання виконуються повною мірою. Аналогічні розрахунки проведено для решти трансформаторних підстанцій фабрики (ТП-2 ... ТП-5). Слід зазначити, що підстанція ТП-5 є однострансформаторною, тому вибір її потужності здійснено виключно за умовою систематичного навантаження, а резервування її споживачів у разі аварії передбачено по мережі 0,4 кВ від суміжної підстанції. Результати всіх обчислень зведено до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Вибір потужності трансформаторів цехових підстанцій швейної фабрики

№ ТП	$S_{p.i.}$, кВА	$S_{ном.сист.}$, кВА	$S_{ном.ав.}$, кВА	$S_{ном.}$, кВА	$K_{з.ном}$	$K_{з.ав.}$	Відключення споживачів III кат., %
1	913,224	422,79	629,21	630	0,72	1,40	3,54
2	909,359	421,00	629,40	630	0,72	1,40	3,10
3	918,251	425,12	628,94	630	0,73	1,40	4,11
4	904,857	418,92	629,58	630	0,72	1,40	2,59
5	524,023	485,20	—	630	0,83	—	18,83

5.2 Обґрунтування вибору типу та компонування цехових підстанцій

Вибір конструктивного виконання та типу силових трансформаторів для швейної фабрики здійснюється з урахуванням специфічних умов експлуатації текстильного виробництва. До ключових факторів, що впливають на вибір обладнання, належать: підвищений рівень запиленості (наявність тканинних волокон), температурний режим приміщень, вимоги пожежної безпеки та необхідність мінімізації обсягів технічного обслуговування.

Виходячи з проведеного аналізу, для встановлення прийняті герметичні масляні трансформатори типу ТМГ. Дане рішення забезпечує високий рівень експлуатаційної надійності та безпеки, що є оптимальним для умов промислової зони фабрики.

Основними технічними перевагами трансформаторів серії ТМГ у даному проекті є: повна герметичність - конструкція бака виключає контакт трансформаторного масла з навколишнім середовищем; температурна компенсація - розширення масла при нагріванні компенсується пружною

						Арк.
						50

деформацією гофрованих стінок бака; стійкість до вібрацій та навантажень; довговічність - строк експлуатації герметичних трансформаторів ТМГ становить понад 25-30 років без необхідності проведення ревізій та взяття проб масла. Технічні характеристики силових трансформаторів ТМГ-630/10 наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 - Технічні характеристики силових трансформаторів ТМГ-630/10

Параметр	Одиниці виміру	Значення	Параметр	Одиниці виміру	Значення
Номінальна потужність, $S_{ном}$	кВА	630	Напруга короткого замикання, u_k	%	6,0
Номінальна напруга обмотки ВН	кВ	10	Струм холостого ходу, i_{xx}	%	2,0
Номінальна напруга обмотки НН	кВ	0,4	Схема і група з'єднання обмоток	-	Y/Y-0 або Δ/Y-11
Втрати активної потужності холостого ходу, ΔP_{xx}	кВт	1,24	Повна маса (орієнтовно)	кг	1950
Втрати активної потужності короткого замикання, $\Delta P_{кз}$	кВт	7,60	Маса масла	кг	480

Згідно з проєктним рішенням, усі трансформаторні підстанції фабрики виконані у внутрішньому прибудованому або внутрішньоцеховому варіанті. Таке розміщення дозволяє максимально наблизити джерела живлення до центрів навантажень, визначених у другому розділі.

Розподіл КТП за територією підприємства передбачено наступним чином:

- КТП-1, КТП-2 та КТП-3 розміщуються в межах центрального виробничого корпусу для живлення розкрійного комплексу та основних швейних цехів;
- КТП-4 розташовується безпосередньо у приміщенні котельні для живлення потужного насосного обладнання та парогенераторів;
- КТП-5 встановлюється в адміністративно-побутовому корпусі для забезпечення потреб допоміжних підрозділів, їдальні та навчального центру.

Використання комплектних підстанцій дозволяє скоротити час монтажних робіт, оскільки обладнання постачається у вигляді готових блоків, що включають пристрої високої напруги, силовий трансформатор та розподільний пристрій низької напруги.

						Арк.
						51

6 СТРУМИ КЗ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ШВЕЙНОЇ ФАБРИКИ, ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ, МЕРЕЖ ТА ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

6.1 Розрахунок струмів короткого замикання в системі електропостачання швейної фабрики

Розрахунок струмів короткого замикання (КЗ) є невід'ємною та обов'язковою складовою проєктування системи електропостачання. Отримані результати є базою для перевірки та вибору високовольтних і низьковольтних кабельних ліній та комутаційних апаратів.

Відповідно до нормативних вимог та методики [1], розрахунок струмів симетричного трифазного короткого замикання передбачає визначення наступних основних величин:

- початкове діюче значення періодичної складової струму КЗ (надперехідний струм):

$$I_{no} = I'' = \frac{E''_{\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot x_{рез.б}},$$

де E''_{Σ} - еквівалентна (результуюча) надперехідна електрорушійна сила (ЕРС) джерела живлення; $x_{рез.б}$ - результуючий еквівалентний опір кола короткого замикання, приведений до базисних умов;

- ударний струм короткого замикання (максимальне миттєве значення струму, що виникає приблизно через півперіоду після початку КЗ):

$$i_y = \sqrt{2} \cdot I'' \cdot \left(1 + e^{\frac{-0,01}{T_a}} \right),$$

де T_a – стала часу затухання аперіодичної складової струму КЗ, с.

Величина сталої часу визначається за співвідношенням еквівалентних індуктивних та активних опорів розрахункової схеми:

$$T_a = \frac{x_{рез}}{\omega_{рез} \cdot r_{рез}}.$$

						Арк.
						52

На основі схеми електропостачання (рис. 6.1) складається розрахункова схема заміщення (рис. 6.2).

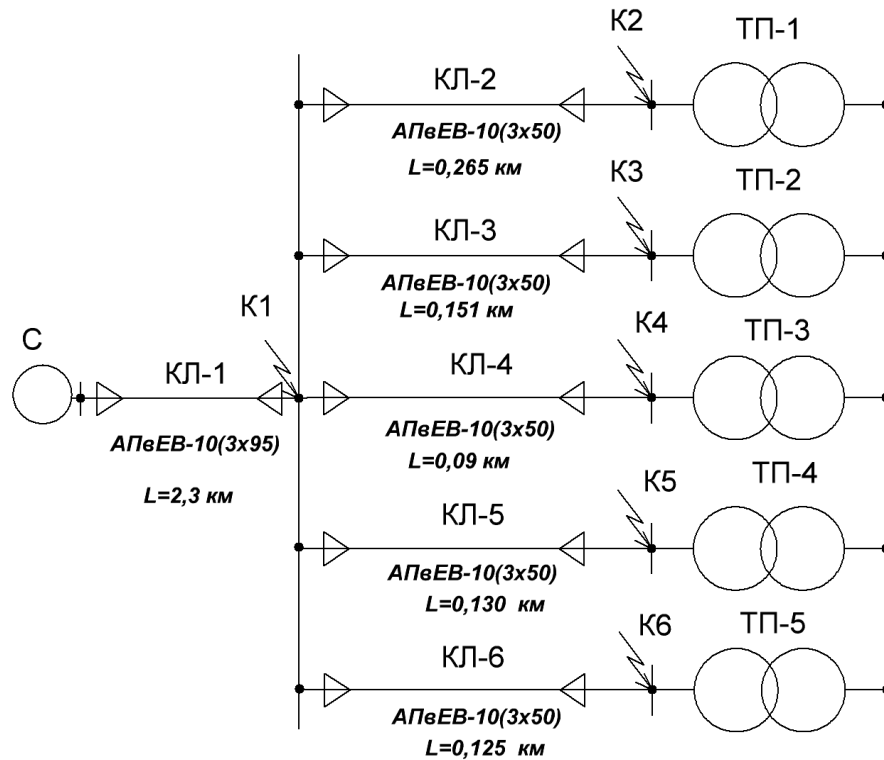


Рис. 6.1 – Схема системи електропостачання швейної фабрики

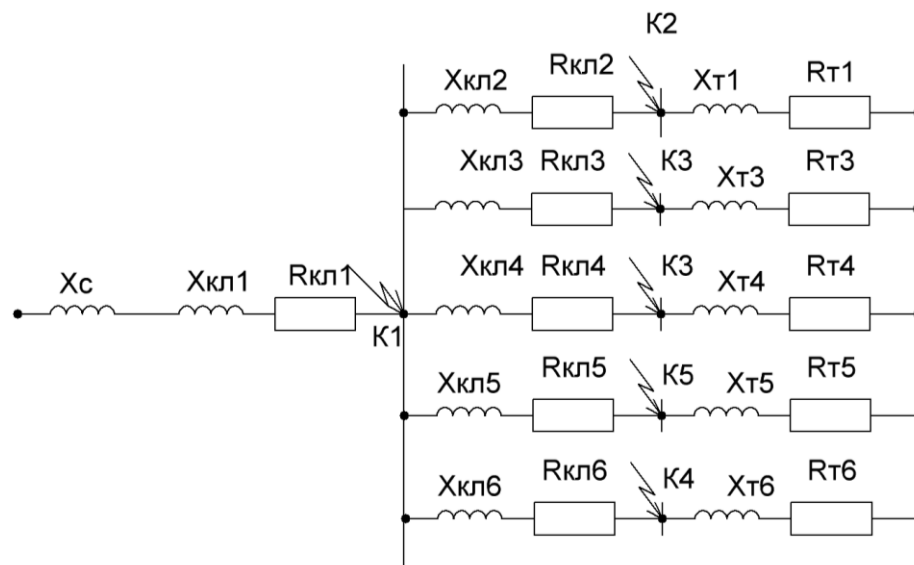


Рис. 6.2 – Схема заміщення системи електропостачання швейної фабрики

Для приведення параметрів усіх елементів до єдиної системи одиниць обираємо такі базисні значення потужності та напруги:

$$S_{б.}=170 \text{ МВА}; U_{б.}=U_{ном.}=10,5 \text{ кВ.}$$

Базисний струм (I_6) системи:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{170}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 9,347 \text{ кА.}$$

Базисний опір (x_6) системи:

$$x_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot I''} = \frac{170}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 7,2} = 1,298 \text{ в.о.}$$

Розрахунок активних та індуктивних опорів кабельних ліній виконується у відносних одиницях, приведених до базисних умов. Для прикладу наведемо детальний розрахунок для живильної магістралі КЛ-1 (АПВЕР-10 3х95) та розподільної лінії КЛ-2 (АПВЕР-10 3х50):

$$x_{кл 1} = x_0 \cdot \ell_1 \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0,083 \cdot 2,3 \cdot \frac{170}{10,5^2} = 0,294 \text{ в.о.};$$

$$r_{кл 1} = r_0 \cdot \ell_1 \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0,34 \cdot 2,3 \cdot \frac{170}{10,5^2} = 1,206 \text{ в.о.};$$

$$x_{кл 2} = x_0 \cdot \ell_2 \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0,09 \cdot 0,265 \cdot \frac{170}{10,5^2} = 0,037 \text{ в.о.};$$

$$r_{кл 2} = r_0 \cdot \ell_2 \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0,64 \cdot 0,265 \cdot \frac{170}{10,5^2} = 0,262 \text{ в.о.}$$

Опори для інших кабельних ліній (КЛ-3 ... КЛ-6) розраховано аналогічно. Абсолютні та відносні значення опорів усіх ліній системи внутрішньозаводського електропостачання зведено до таблиці 6.1.

Таблиця 6.1- Розрахунок опорів кабельних ліній СЕР швейної фабрики

№ КЛ	Від - до	L, км	R ₀ , Ом/км	X ₀ , Ом/км	R _{кл.і} , Ом	X _{кл.і} , Ом	R* ₆ , в.о.	X* ₆ , в.о.
1	С - ЦРП	2,300	0,34	0,083	0,7820	0,1909	1,206	0,294
2	ЦРП - ТП1	0,265	0,64	0,090	0,1696	0,0239	0,262	0,037
3	ЦРП - ТП2	0,151	0,64	0,090	0,0966	0,0136	0,149	0,021
4	ЦРП - ТП3	0,090	0,64	0,090	0,0576	0,0081	0,089	0,013
5	ЦРП - ТП4	0,130	0,64	0,090	0,0832	0,0117	0,128	0,018
6	ЦРП - ТП5	0,125	0,64	0,090	0,0800	0,0113	0,123	0,017

Детальний приклад розрахунку наведемо для точки K_1 (шини 10 кВ головного розподільного пункту ЦРП). Сумарний опір кола до точки K_1 включає опір системи та опір живильної кабельної лінії КЛ-1:

$$x_{K1} = x_c + x_{KL-1} = 1,298 + 0,294 = 1,592;$$

$$r_{K1} = r_{KL-1} = 0 + 1,206 = 1,206;$$

$$z_{K1} = \sqrt{(x_{K1}^2 + r_{K1}^2)} = \sqrt{1,592^2 + 1,206^2} = 1,997.$$

Початкове діюче значення періодичної складової (надперехідний струм) для точки K_1 :

$$I_{K1}'' = \frac{I_\delta}{z_{K1}} = \frac{9,347}{1,997} = 4,680 \text{ кА};$$

Стала часу затухання аперіодичної складової та ударний струм КЗ:

$$T_{a1} = x_{рез1} / (\omega \cdot r_{рез1}) = 1,592 / (314 \cdot 1,206) = 0,0042 \text{ с};$$

$$i_{y1} = \sqrt{2} \cdot I_{K1}'' \cdot \left(1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a1}}} \right) = \sqrt{2} \cdot 4,68 \cdot \left(1 + e^{\frac{-0,01}{0,0042}} \right) = 7,2 \text{ кА}.$$

Для перевірки кабелів на термічну стійкість розрахуємо тепловий імпульс струму КЗ (B_K):

$$B_K = (I_{K1}'')^2 \cdot (t_{відкл} + T_{a1}) = 4,68^2 \cdot (0,2 + 0,0042) = 4,47 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Для точок $K_2 - K_6$ (шини 10 кВ цехових підстанцій ТП-1 ... ТП-5) розрахунки виконуються аналогічно, шляхом послідовного додавання опорів відповідних розподільних кабельних ліній до опору точки K_1 . Результати зведено до таблиці 6.2.

6.2 Вибір та перевірка струмопровідних пристроїв та високовольтного обладнання швейної фабрики

						Арк.
						55

Таблиця 6.2- Результати розрахунку струмів КЗ в мережі 10 кВ швейної фабрики

№ ТКЗ	Місце КЗ	X_{Σ} , в.о.	R_{Σ} , в.о.	Z_{Σ} , в.о.	$I''_{к.і}$, кА	T_{ai} , с	$i_{уд.к.і}$, кА	$B_{к,}$ кА2 . с
K_1	Шини 10 кВ ЦРП	1,592	1,206	1,997	4,680	0,0042	7,227	4,47
K_2	Шини 10 кВ ТП-1	1,629	1,468	2,193	4,262	0,0035	6,381	3,70
K_3	Шини 10 кВ ТП-2	1,613	1,355	2,107	4,437	0,0038	6,722	4,01
K_4	Шини 10 кВ ТП-3	1,605	1,295	2,063	4,532	0,0039	6,918	4,19
K_5	Шини 10 кВ ТП-4	1,610	1,334	2,091	4,470	0,0038	6,790	4,07
K_6	Шини 10 кВ ТП-5	1,609	1,329	2,087	4,478	0,0039	6,807	4,09

Враховуючи сучасні вимоги до надійності та довговічності електричних мереж, до прокладання приймаємо кабелі з алюмінієвими жилами та ізоляцією зі зшитого поліетилену марки АПВЕР-10.

Наведемо детальний приклад розрахунку та вибору для головної живильної магістралі (КЛ до ЦРП). Розрахунковий струм одного ланцюга в нормальному режимі роботи:

$$I_{p.црп} = \frac{S_p}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{3634,32}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 99,92 \text{ А.}$$

Струм у післяаварійному режимі (при виході з ладу однієї з двох ліній все навантаження переходить на лінію, що залишилася в роботі):

$$I_{p.ав.} = 2 \cdot I_{p.црп} = 2 \cdot 99,92 = 199,84 \text{ А.}$$

Перевіряємо обраний кабель за умовами допустимого нагрівання:

- умова для нормального режиму роботи:

$$I_{p.црп} \leq k_n \cdot I_{тр.доп.}$$

$$99,92 \text{ А} \leq 0,9 \cdot 203 = 182,7 \text{ А.}$$

- умова для післяаварійного режиму роботи:

$$I_{p.ав} \leq K_{ав} \cdot K_{п} \cdot I_{доп.};$$

$$199,84 \text{ А} \leq 1,25 \cdot 0,9 \cdot 203 = 228,38 \text{ А.}$$

Умова виконується. Обраний кабель повністю задовольняє вимоги надійності.

Для розподільних кабельних ліній від ЦРП до цехових підстанцій (ТП-1 ... ТП-5) виконуються аналогічні розрахунки. З огляду на порівняно невеликі розрахункові струми та вимоги до механічної міцності високовольтних ліній, для всіх цехових ТП приймаємо мінімально допустимий за умовами міцності переріз для даного типу кабелю - АПвЕП-10 (3х50) із тривало допустимим струмом $I_{\text{доп}} = 175$ А. Результати розрахунків та перевірок усіх ліній 10 кВ зведено до таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Вибір кабельних ліній напругою 10 кВ швейної фабрики

Призначення КЛ	S_p , кВА	n	$I_{p.\text{норм}}$, А	$I_{p.\text{ав}}$, А	Марка та переріз КЛ	$I_{\text{доп}}$, А	$K_p \cdot I_{\text{доп}}$, А	$K_{av} \cdot K_p \cdot I_{\text{доп}}$, А
До ЦРП	3634,32	2	99,92	199,84	АПвЕП-10 (3х95)	203	186,76	228,38
ЦРП – ТП1	913,22	2	26,36	52,72	АПвЕП-10 (3х50)	175	161,0	201,3
ЦРП – ТП2	909,36	2	26,25	52,50	АПвЕП-10 (3х50)	175	161,0	201,3
ЦРП – ТП3	918,25	2	26,51	53,02	АПвЕП-10 (3х50)	175	161,0	201,3
ЦРП – ТП4	904,86	2	26,12	52,24	АПвЕП-10 (3х50)	175	161,0	201,3
ЦРП – ТП5	524,02	1	30,25	30,25	АПвЕП-10 (3х50)	175	161,0	201,3

Обрані кабельні лінії необхідно перевірити на термічну стійкість до струмів короткого замикання. Мінімально допустима площа поперечного перерізу жили кабелю за цієї умовою визначається за формулою:

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{B_k} \cdot 10^3}{C}.$$

Виконаємо перевірку для живильної магістралі (КЛ-1), що прокладена від джерела живлення до шин 10 кВ ЦРП:

$$F_{\min.1} = \frac{\sqrt{4.47} \cdot 10^3}{94} = 22.49 \text{ мм}^2.$$

Попередньо прийнятий за умовою нагрівання робочим струмом переріз кабелю КЛ-1 становить 95 мм². Оскільки $F_{\text{факт}} \geq F_{\min}$ (95 мм² > 22,49 мм²), умова термічної стійкості виконується з достатнім запасом.

						Арк.
						57

Аналогічно виконаємо перевірку для розподільних кабельних ліній, що живлять цехові підстанції. Для розрахунку оберемо найважчий режим - лінію КЛ-4 (живлення ТП-3), для якої зафіксовано найбільший тепловий імпульс серед цехових ТП:

$$F_{\min.4} = \frac{\sqrt{4.19} \cdot 10^3}{94} = 21.78 \text{ мм}^2.$$

Попередньо прийнятий переріз кабельних ліній від ЦРП до цехових ТП становить 50 мм². Умова $F_{\text{факт}} \geq F_{\min}$ (50 мм² > 21,78 мм²) також успішно виконується.

Вибір високовольтного обладнання. До основного високовольтного обладнання, що підлягає вибору та перевірці в системі електропостачання швейної фабрики, належать: комутаційні апарати 10 кВ (вакуумні вимикачі), комплектні розподільні пристрої (КРП), обмежувачі перенапруг (ОПН), трансформатори власних потреб та вимірювальні трансформатори. Вибір та перевірка електричних апаратів здійснюється відповідно до нормативних вимог та розрахункових режимів роботи мережі за методикою, наведеною в [1].

У якості комутаційних апаратів для ЦРП приймаємо до встановлення сучасні вакуумні вимикачі типу RV-12 з полюсами P1 виробництва Рівненського заводу високовольтних апаратів [10]. Дані вимикачі характеризуються високим комутаційним ресурсом, відсутністю необхідності заміни дугогасного середовища та екологічною безпекою.

Розглянемо вибір та перевірку ввідних, секційного вимикачів ЦРП, а також вимикачів відхідних ліній, що живлять цехові трансформаторні підстанції. Умови перевірки та порівняння параметрів мережі з паспортними даними вимикача зведено до таблиць Додатку А1 та А2.

Обрані вакуумні вимикачі RV-12 (630 А, 20 кА) повністю задовольняють вимоги як за режимом тривалого навантаження, так і за умовами термічної та електродинамічної стійкості до струмів короткого замикання в системі електропостачання швейної фабрики.

						Арк.
						58

Для комплектування центрального розподільного пункту (ЦРП) напругою 10 кВ приймаємо комірки комплектних розподільних пристроїв (КРП) серії КУ-10. Дані комірки призначені для прийому та розподілу електричної енергії змінного трифазного струму, і саме в них інтегруються обрані раніше вакуумні вимикачі RV-12. Основні технічні характеристики обраних комірок КРП наведено у Додатку А, табл. А3.

Для забезпечення безперебійного живлення кіл керування, захисту, сигналізації, а також освітлення та обігріву комірок ЦРП необхідно обрати трансформатори власних потреб (ТВП). Зведена відомість розрахунку навантажень споживачів власних потреб наведена в Додатку А, табл. А5.

На основі отриманих даних визначаємо повне розрахункове навантаження власних потреб ЦРП з урахуванням коефіцієнта одночасності $k_0 = 0,8$:

$$S_{p.en} = k_0 \cdot \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma}^2} = 0.8 \cdot \sqrt{30,0^2 + 13.38^2} = 26,14 \text{ кВА}$$

Виходячи з отриманого значення, до встановлення приймаємо два трансформатори власних потреб номінальною потужністю 25 кВА (наприклад, типу ТСЗ-25/10).

Для захисту обладнання ЦРП від комутаційних та атмосферних перенапруг передбачено встановлення нелінійних обмежувачів перенапруг типу ОПН-10 у відповідних комірках.

Захист трансформаторів власних потреб від струмів короткого замикання та перевантаження здійснюється за допомогою високовольних запобіжників типу ПКТ-10, а захист вимірювальних трансформаторів напруги - за допомогою запобіжників типу ПКН-10.

6.3 Вибір трансформаторів струму та напруги, електричних схем підключення лічильників

Для забезпечення точності розрахунків із постачальником енергії та здійснення внутрішнього моніторингу енергоспоживання на швейній фабриці передбачено систему автоматизованого обліку. Система базується на

						Арк.
						59

використанні багатфункціональних мікропроцесорних лічильників, що підключаються через вимірювальні трансформатори струму та напруги.

Згідно з вимогами нормативних документів, облік на підприємстві поділяється на два рівні: комерційний (розрахунковий) облік та технічний (контрольний) облік. Комерційний облік встановлюється на ввідних лініях 10 кВ (межа балансової належності) для здійснення фінансових розрахунків з енергопостачальною організацією. Для цього обрано трифазні лічильники модифікації МТХ 3G з класом точності 0,5S. Технічний облік призначений для аналізу питомих витрат електроенергії окремими цехами та підрозділами фабрики. На відхідних лініях до цехових ТП встановлюються лічильники МТХ3 з класом точності 1,0.

Типова схема підключення лічильника комерційного обліку через вимірювальні трансформатори наведена на рис. 6.3.

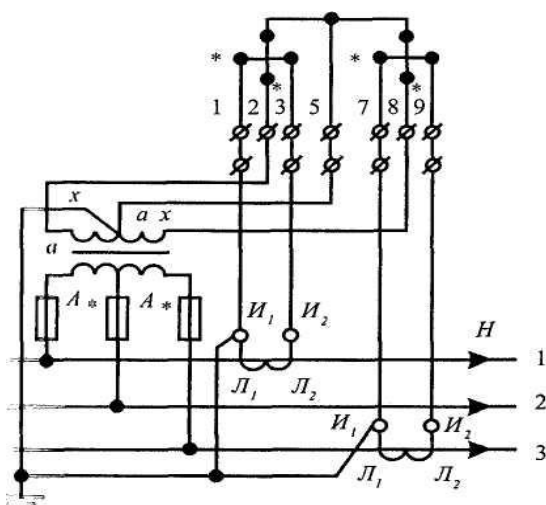


Рис. 6.3 - Схема ввімкнення лічильника МТХ 3G через трансформатори струму та напруги

Для забезпечення роботи приладів обліку в комірках КРП КУ-10 передбачено встановлення вимірювальних трансформаторів:

- трансформатори струму серії ТПЛУ: опорного типу з литою ізоляцією, що забезпечують передачу сигналу вимірювальної інформації приладам обліку та пристроям захисту.
- трансформатори напруги НАМИ-10: антирезонансні, трифазні, масляні, що призначені для живлення ланцюгів вимірювання та автоматики.

Повний перелік обладнання для організації системи обліку наведено у таблиці 6.4.

						Арк.
						60

Таблиця 6.4 - Специфікація обладнання для організації енергообліку швейної фабрики

Найменування та марка приладу	Клас точності, %	Кількість, шт.	Призначення
Електролічильник МТХ 3G	0,5S	2	Комерційний облік (вводи ЦРП)
Електролічильник МТХ3	1,0	12	Технічний облік (відхідні лінії)
Трансформатор струму ТПЛУ	0,5	48	Вимірювання та захист
Трансформатор напруги НАМИ-10	0,5	2	Контроль напруги на секціях шин

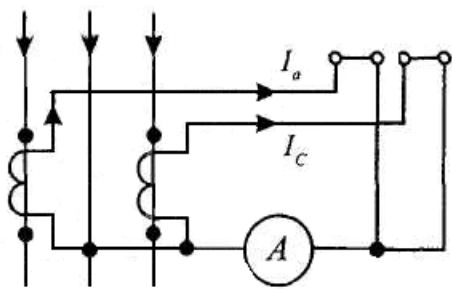
Вибір класу точності вимірювальних трансформаторів (0,5) відповідає вимогам до комерційного обліку, що дозволяє мінімізувати похибку вимірювань та забезпечити коректну роботу інтелектуальних лічильників серії МТХ.

Вибір вимірювальних трансформаторів струму (ТС) здійснюється за номінальною напругою та струмом тривалого режиму роботи, а перевірка - за умовами електродинамічної та термічної стійкості до струмів короткого замикання, а також за здатністю працювати в заданому класі точності залежно від вторинного навантаження.

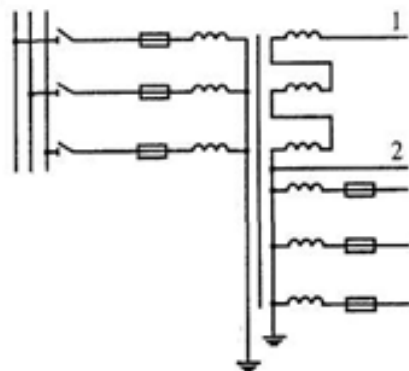
Для встановлення в комірках вводу ЦРП приймаємо трансформатори струму типу ТПЛУ-10 з коефіцієнтом трансформації 300/5, а для відхідних ліній до цехових ТП - ТПЛУ-10 з коефіцієнтом трансформації 100/5.

Результати перевірки трансформаторів струму на ввідних комірках ЦРП за параметрами первинного кола наведено в Додатку А, табл. А4. Аналогічно перевірку проходять і ТС відхідних ліній. Усі умови надійної роботи виконуються.

Далі розраховуємо вторинне навантаження трансформаторів струму залежно від потужності приладів, що до них підключені. Підключення ТС до приладів обліку виконується за схемою «неповної зірки» (рис. 6.1, а).



а)



б)

Рис. 6.4 – Підключення: а) до приладів обліку трансформаторів струму;
б) трансформатору напруги НАМИ-10

Виконуємо перевірку умови роботи ТС у заданому класі точності 0,5 (дані наведено в табл. А6 Додатку А):

$$S_{\text{прил.А}} = 4,1 \text{ ВА}; \quad z_{\text{прил.}} = \frac{S_{\text{прил.}}}{I_2^2} = \frac{4,1}{5^2} = 0,164 \text{ Ом};$$

$$r_{\text{пров.}} = \rho \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot l}{q} = 0,0175 \frac{\sqrt{3} \cdot 10}{2,5} = 0,1212 \text{ Ом};$$

$$q = 2,5 \text{ мм}^2; \quad r_{\text{к}} = 0,05 \text{ Ом}.$$

$$z_2 = z_{\text{прил.}} + r_{\text{к}} + r_{\text{пров.}} = 0,164 + 0,05 + 0,1212 = 0,335 \text{ Ом} \leq z_{2 \text{ ном}} = 0,4 \text{ Ом}.$$

Умова успішно виконується: $z_2 \leq z_{2 \text{ ном}}$. Вторинне навантаження трансформаторів струму на відхідних лініях (табл. А7 Додатку А) перевіряється аналогічним чином і також задовольняє вимоги.

Для контролю рівня напруги на збірних шинах 10 кВ ЦРП, а також для живлення кіл обліку і вимірювання обираємо трифазні антирезонансні трансформатори напруги типу НАМИ-10 (рис. 6.3, б). Розрахунок фактичного вторинного навантаження трансформатора напруги здійснюється на основі даних про кількість та споживану потужність підключених до нього вимірювальних приладів. Перелік приладів, підключених до ТН однієї секції шин ЦРП, та їхнє навантаження зведено до табл. А.8 Додатку А.

На основі розрахованих сумарних значень активної та реактивної потужностей визначаємо повне вторинне навантаження трансформатора напруги:

$$S_{\Sigma TH} = \sqrt{\Sigma P_{TH}^2 + \Sigma Q_{TH}^2} = \sqrt{19,7^2 + 3,78^2} = 20,06 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Для забезпечення коректної роботи системи комерційного обліку електроенергії вимірювальний трансформатор повинен працювати в заданому класі точності 0,5. Перевіряємо виконання умови роботи ТН у цьому класі точності:

$$S_{2_{\text{ном}}} = 120 \text{ ВА} > 20,06 \text{ ВА}.$$

Умова успішно виконується. Обрані трансформатори напруги НАМИ-10 працюватимуть без перевантаження, що гарантує збереження класу точності 0,5 та високу достовірність показників комерційного та технічного обліку швейної фабрики.

						Арк.
						63

7 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ ШВЕЙНОГО ЦЕХУ

7.1. Аналіз особливостей зорової роботи та ергономічні вимоги до освітлення на швейному виробництві

Загальні вимоги до виконання систем освітлення на промисловому підприємстві. Правильне виконання освітлювальних електричних мереж промислових підприємств є критично важливим, оскільки воно сприяє раціональному використанню електроенергії, поліпшує якість виробленої продукції, підвищує продуктивність праці та зменшує кількість аварій і випадків травматизму.

Дослідження підтверджують пряму залежність функції зору від умов штучного освітлення. Тому головною метою нормування є створення в приміщенні такого світлового середовища, яке забезпечує світлотехнічну ефективність з урахуванням вимог фізіології зору, гігієни праці та техніки безпеки при мінімальних витратах електроенергії та ресурсів на експлуатацію.

Розглянемо критерії вибору та нормування освітлення. Першочергове значення для вибору системи освітлення має точність виконуваних зорових робіт, характер і особливості виробничого обладнання, а також умови природного освітлення.

Основні правила і норми регламентуються Державними будівельними нормами України ДБН В.2.5-28-2018 [13]. Відповідно до них, освітлювальні установки характеризуються кількісними та якісними параметрами.

Основним нормованим параметром є освітленість робочої поверхні. Її вибір пояснюється доведеним зв'язком між рівнем освітленості, зоровою працездатністю та продуктивністю праці, а також тим, що її легко розрахувати та виміряти.

Якість освітлення визначається обмеженням засліпленості та дискомфорту, рівномірністю розподілу світла, відсутністю різких тіней, обмеженням глибини пульсації світлового потоку та правильним спектральним складом джерел світла.

Для приміщень, де існують жорсткі вимоги щодо правильної кольоропередачі, необхідно застосовувати джерела світла з відповідною кольорністю, зокрема сучасні світлодіодні лампи.

При проектуванні та розміщенні освітлювальних приладів (ОП) у виробничих приміщеннях висувається ряд експлуатаційних та безпекових умов:

- створення нормованої освітленості найбільш економічним шляхом, використовуючи оптимальні відношення відстані між світильниками до висоти їх підвісу;
- забезпечення безпечного та зручного доступу для обслуговування, найменшої довжини групової мережі та надійності кріплення світильників;
- врахування будівельних особливостей приміщення та наявності транспортного або кранового обладнання, яке може затіняти робочі зони;
- електрообладнання та мережі повинні відповідати умовам навколишнього середовища, забезпечувати вибухо-, пожежо- та електробезпеку;
- система управління освітленням має бути зручною для персоналу.

Окремі підвищені вимоги ставляться до аварійного та евакуаційного освітлення, для якого повинна бути гарантована максимальна надійність та безперебійність електропостачання.

Особливості виконання систем освітлення на швейному виробництві. Для швейної промисловості характерна наявність надзвичайно складних і різноманітних зорових завдань при виконанні технологічних операцій. За показниками точності зорової роботи та кількісними критеріями, праця в розкрійних і швейних цехах належить до категорії напруженої.

Розглянемо специфіку освітлення робочих місць залежно від технологічних операцій та застосовуваного обладнання. Сучасна швейна галузь, що орієнтована на масове виробництво, вимагає використання високопродуктивного устаткування, де кожна технологічна операція пред'являє специфічні вимоги до умов зорової роботи. Для забезпечення ергономіки та високої якості продукції, розробка системи електроосвітлення повинна бути диференційованою та враховувати особливості кожної групи обладнання.

До основних ділянок швейного цеху відносять: ділянку пошиття; ділянку напівавтоматів та обробки фурнітурою; розкрійну ділянку; ділянку волого-теплової обробки.

На ділянці пошиття виконуються машинні операції високої точності. Для цього встановлені прямострочні одинголкові (з електронним управлінням) та двоголкові швейні машини човникового стібка, красобметувальні машини (оверлоки), швейні машини "зигзаг" та ланцюгового стібка. Ця група виконує базові операції пошиття, що вимагають безперервного спостереження за рухом голки та нитки на фоні тканини. Для цих робочих місць обов'язковим є комбіноване освітлення. Загальне освітлення цеху має забезпечувати фон (500–750 лк), а локальні світильники, вмонтовані в машини або закріплені на кронштейнах, повинні створювати освітленість до 2000–3500 лк безпосередньо в зоні голки (у радіусі 10 см). Критично важливою є конструкція локального світильника: він має бути спрямованим так, щоб корпус машини не створював падаючих тіней на робочу зону.

На ділянці напівавтоматів та обробки фурнітурою встановлені петельні машини для виготовлення прямих петель, гудзикові машини, автоматизовані комплекси для обробки кишень. Особливістю роботи на такому обладнанні є необхідність точного початкового позиціонування деталі (суміщення крейдових міток з робочим органом), після чого машина виконує цикл автоматично. Освітленість також має відповідати високим нормам (комбіноване освітлення близько 2000 лк). Оскільки машини працюють на дуже високих швидкостях з різкими зупинками, джерела світла повинні мати коефіцієнт пульсації, що наближається до нуля ($K_p < 5\%$), для повного виключення стробоскопічного ефекту і травматизму.

На розкрійній ділянці встановлено електричні розкрійні ножі з дисковими лезами. Операція розкрою матеріалу вимагає відмінного бачення контурів лекал на великій площі. Тут застосовується переважно система загального локалізованого освітлення. Лінійні LED-світильники розташовуються безпосередньо над лініями розкрійних столів, забезпечуючи рівномірну освітленість не менше 750 лк по всій

площині столу. Особлива увага приділяється індексу передачі кольору ($R_a > 80-90$), оскільки саме на етапі розкрою здійснюється візуальний контроль наявності дефектів або різнотону в рулонах тканини.

На ділянці волого-теплової обробки встановлені промислові парогенератори з прасками, преси для дублювання. При прасуванні основне зорове завдання - виявити дрібні складки, зморшки, а також появу небажаного блиску або термічних пошкоджень на тканині. Достатнім є рівень освітленості 300–500 лк. Однак, з інженерної точки зору електропостачання, світильники в цій зоні повинні мати підвищений ступінь захисту оболонки (не менше IP54), оскільки робота парогенераторів створює локальні зони з підвищеною вологістю.

Специфіка роботи швачки полягає у необхідності тривалого та безперервного розрізнення дрібних деталей (ниток, текстури тканини, контурів шва тощо). Згідно з Державними будівельними нормами (ДБН В.2.5-28-2018), робота в швейних цехах, особливо при пошитті виробів з темних тканин, належить до II розряду (дуже висока точність).

Ця точність зумовлена наступними факторами:

- розмір об'єкта розрізнення: еквівалентний розмір об'єкта розрізнення (наприклад, товщина нитки) становить від 0,15 до 0,3 мм;
- контрастність: часто доводиться працювати з малим контрастом об'єкта з фоном (наприклад, зшивання темної тканини темними нитками), що класифікується як темний фон (підрозряд зорової роботи «а»);
- динамічність процесу: сучасні швидкохідні швейні машини виконують понад 5000 стібків на хвилину. Працівник повинен контролювати якість рядка в динаміці, що вимагає високої швидкості зорової реакції. На ручні операції, пов'язані з високим напруженням зору (включаючи контроль якості), припадає до 35% робочого часу.

Враховуючи вищезазначені особливості, система електропостачання освітлювальних установок повинна забезпечувати не лише нормативну кількість світла, але й високу ергономічну якість світлового середовища. Недотримання цих

вимог призводить до швидкої втоми зорового апарату, зниження продуктивності праці та підвищення рівня виробничого травматизму і браку.

До ключових ергономічних факторів освітлення у швейному цеху належать:

- забезпечення високого рівня освітленості робочої зони: для компенсації малого розміру об'єктів та низького контрасту необхідне використання системи комбінованого освітлення (загальне та місцеве). Нормована освітленість робочої поверхні від загального освітлення повинна складати 400 лк, а сумарна (з урахуванням місцевого підсвічування зони голки) - 3500 лк;
- обмеження коефіцієнта пульсації (K_p) та усунення стробоскопічного ефекту: Це критично важливий показник для безпеки. Оскільки голка швейної машини рухається з високою частотою, пульсація світлового потоку може викликати стробоскопічний ефект - оптичну ілюзію, при якій голка здається нерухомою. Це створює пряму загрозу травмування. Нормативний коефіцієнт пульсації не повинен перевищувати 10% , що вимагає застосування сучасних LED-джерел світла з якісними драйверами, які згладжують пульсації струму;
- високий індекс передачі кольору (R_a): сточування деталей модельного одягу вимагає контролю відсутності різнотону деталей, що з'єднуються. Джерела світла повинні мати індекс передачі кольору $R_a \geq 80$, щоб працівники могли адекватно розрізняти відтінки тканин без спотворення. Колірна температура повинна бути наближена до природного світла (від 2400 К до 6800 К);
- обмеження засліпленості та тінеутворення: обладнання цеху (корпуси швейних машин) створює зони затемнення. Світильники загального освітлення необхідно розташовувати так, щоб уникнути різких тіней у робочій зоні. Крім того, світлові прилади повинні бути оснащені розсіювачами для обмеження прямої та відбитої блискоті (показник засліпленості $P \leq 10$) , щоб елементи, які світяться, не потрапляли в поле зору працюючих.

Оптимальним технічним рішенням, що задовольняє жорсткі ергономічні вимоги швейного виробництва та критерії енергоефективності, є впровадження системи комбінованого освітлення на базі світлодіодних (LED) технологій. Застосування LED-світильників у поєднанні з правильно підібраною схемою

електропостачання дозволяє мінімізувати зорову втому персоналу та створити безпечні умови праці при одночасному зниженні енерговитрат.

7.2 Дослідження енергоефективних режимів роботи освітлювальних установок

7.2.1. Архітектурно-будівельна та світлотехнічна характеристика об'єкта дослідження. Об'єктом дослідження для проектування системи електропостачання та освітлення обрано швейний цех, який спеціалізується на пошитті одягу, жіночої та постільної білизни з використанням як світлих, так і темних тканин. Для коректного вибору енергоефективних режимів роботи освітлювальних установок необхідно врахувати геометричні параметри приміщення та оптичні властивості його поверхонь.

Основний виробничий зал швейного цеху має довжину – 32 м, ширину – 17 м, загальну площу – 544 м², висота приміщення – 4,6 м, висота робочої поверхні – 0,8 м. Крім основного виробничого залу, до складу комплексу входять складські приміщення, санітарний блок, кімната відпочинку та кімната майстрів. Основні характеристики виробничих приміщень наведено в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Основні характеристики виробничих приміщень

№	Найменування приміщення	Довжина А, м	Ширина В, м	Площа S, м ²	Висота приміщення Н, м	Висота робочої поверхні h _p , м	Норма освітленості E _{min} , Лк
1	Швейний цех	32	17	544	4,6	0,8	400
2	Склади	15	8	120	2,8	0,8	50
3	Кімната відпочинку	8	5	40	2,8	0,8	150
4	Санблок	8	5	45	2,8	0,8	30
5	Кімната майстрів	6	5	40	2,8	0,8	250

До факторів, які впливають на енергоефективність системи освітлення відносяться природне освітлення (інсоляція) та оптичні властивості поверхонь.

Вікна в цеху розташовані з двох боків будівлі. Завдяки цьому створюється двостороннє бокове природне освітлення. Наявність потужного джерела природного світла є ключовим фактором для розробки енергоефективного режиму: це дозволяє впровадити систему автоматичного регулювання (диміювання) штучного освітлення в денний час, залежно від рівня інсоляції, що суттєво знизить витрати електроенергії.

Оздоблення приміщення виконано світлою фарбою та декоративною штукатуркою, а підлога вкрита світлим лінолеумом. Відповідно, коефіцієнти відбиття становлять: для стелі - 70%, для стін - 50%, для розрахункової поверхні (підлоги) - 30%. Такі високі показники відбиття дозволяють максимально ефективно використовувати світловий потік світильників (багаторазове відбиття), що дає змогу застосувати освітлювальні прилади меншої електричної потужності для досягнення нормованих 400 Лк фонового освітлення.

7.2.2. Розробка енергоефективних режимів роботи та автоматизація системи освітлення. Традиційний підхід до проектування освітлення, за якого всі світильники в цеху вмикаються одночасно і працюють на повну потужність протягом усієї зміни, є енергозатратним і морально застарілим.

Для сучасного швейного підприємства пропонується впровадити систему управління освітленням, яка дозволяє оптимізувати витрати електроенергії за трьома основними напрямками:

1. Зонування освітлення та використання природного світла.
2. Автоматизація освітлення допоміжних приміщень.
3. Індивідуальне керування місцевим освітленням швейних машин.

Оскільки швейний цех має двостороннє бокове скління існує можливість використання природного світла. Це означає, що робочі місця, розташовані ближче до вікон, у денний час отримують значну кількість природного світла, тоді як центральна частина приміщення (на відстані 8 метрів від вікон) потребує інтенсивнішого штучного підсвічування.

						Арк.
						70

Для реалізації енергоефективного режиму пропонується:

- розділити світильники загального освітлення на незалежні групи керування, розташовані паралельно вікнам;
- застосувати локальні датчики освітленості (фотореле) для «привіконних» рядів світильників;
- використати світлодіодні світильники з драйверами, що підтримують функцію диміювання. Це дозволить системі автоматично і плавно знижувати потужність світильників біля вікон пропорційно до зростання рівня сонячного світла, підтримуючи при цьому сумарну освітленість на рівні строго нормованих 400 лк.

Окрім основного виробничого залу, комплекс включає низку допоміжних зон: склади, санблок, кімнату відпочинка та кімнату майстрів. Характерною особливістю цих приміщень є епізодичне перебування в них персоналу. Для усунення «людського фактору» (коли працівники забувають вимикати світло) енергоефективний режим у цих зонах забезпечується встановленням:

- датчиків руху (інфрачервоних або мікрохвильових): у складських приміщеннях, де працівник часто має зайняті руки і йому незручно користуватися класичним вимикачем;
- датчиків присутності (з високою чутливістю до дрібних рухів): у роздягальнях та санвузлах. Світильники вмикаються автоматично при вході людини і вимикаються із заданою затримкою часу після того, як приміщення звільняється.

Оскільки локальне освітлення зони голки (2000–3500 лк) вимагає значних енергозатрат, світильники місцевого освітлення повинні мати незалежне керування. Найбільш ефективним режимом є їх електричне блокування з пусковою педаллю або електроприводом самої швейної машини. Світло високої інтенсивності вмикається лише під час безпосереднього виконання технологічної операції (коли швачка працює за машиною) і переходить у режим очікування або вимикається під час перерв.

Для реалізації режимів автоматичного керування пропонується застосувати протокол керування освітленням DALI.

Протокол DALI представляє собою міжнародний відкритий стандарт цифрового керування освітленням, це спеціалізована промислова шина, розроблена виключно для світлотехніки.

Головна перевага DALI полягає в тому, що він дозволяє керувати кожним світильником індивідуально (адресне керування), об'єднувати їх у віртуальні групи та задавати різні сценарії освітлення - і все це по одній двопровідній лінії зв'язку без зміни фізичної проводки.

Сучасна елементна база DALI. Для побудови повноцінної системи керування освітленням (наприклад, у швейному цеху) потрібні кілька типів пристроїв, які з'єднуються двопровідною шиною (DA+ та DA-).

DALI-контролери зберігають налаштування груп, сценаріїв та опитують датчики. Часто DALI інтегрують у системи вищого рівня (BMS — Building Management System) через шлюзи KNX-DALI або DALI-Ethernet.

Цифрова шина DALI потребує власного живлення (зазвичай 16 В постійного струму, струм до 250 мА). Деякі сучасні контролери вже мають вбудований блок живлення шини, але часто він ставиться як окремий модуль на DIN-рейку.

LED-драйвери або кінцеві виконавчі пристрої - блоки живлення самих світлодіодних світильників, які мають вбудований чіп DALI. Вони приймають цифрову команду (наприклад, «увімкнутися на 40%») і перетворюють її на ШІМ-сигнал, який плавно диміює світлодіоди без мерехтіння.

Мультисенсори представляють собою комбіновані датчики, які одночасно вимірюють рівень освітленості (в люксах) та фіксують рух/присутність (інфрачервоні або мікрохвильові). Вони живляться прямо від шини DALI. Саме такі датчики ставляться над робочими місцями та у складських приміщеннях для реалізації енергоефективних режимів.

Релейні модулі використовуються для інтеграції в систему пристроїв, які не вміють диміюватися (наприклад, старі люмінесцентні лампи або витяжні

вентилятори у санвузлах). Модуль просто отримує команду DALI і замикає/розмикає класичне реле (220 В).

Панелі керування та інтерфейси - настінні кнопкові панелі або сенсорні екрани, які підключаються до шини і дозволяють майстру цеху вручну вибрати сценарій.

Структурна схема системи керування освітленням (на базі DALI) включає три ієрархічні рівня:

1. Верхній рівень - керування та диспетчеризація.
2. Середній рівень - лінії зв'язку.
3. Нижній рівень - польові пристрої.

Верхній рівень включає головний DALI-контролер, панель керування майстра цеху та блок живлення шини DALI. Головний DALI-контролер встановлюється в електрощитовій (ЩО-1). Саме в ньому запрограмовані всі групи та сценарії (наприклад, підтримання 400 лк). Сенсорна або кнопкова панель, встановлена в «Кімнаті майстрів». Підключається до контролера і дозволяє вручну обирати режими («Робоча зміна», «Прибирання», «Вимкнути все»). Блок живлення шини DALI видає необхідні 16 В постійного струму для живлення самої інформаційної шини, часто вбудований у контролер.

До середнього рівня відносяться 5-жильні кабелі ВВГнг-LS 5х1,5, які відходять від ЩО-1, дві жили (DA+, DA-) утворюють інформаційну шину DALI.

Нижній рівень включає блок сенсорів та блок виконавчих механізмів. До блоку сенсорів відносять мультисенсори (освітленість та рух), що встановлюють біля вікон (для груп 1 та 5), щоб вимірювати сонячне світло та датчики присутності, що встановлені в підсобних приміщеннях, на складах, у роздягальні. До блоку виконавчих механізмів відносять DALI-драйвери, що вбудовані у світильники загального освітлення, приймають сигнал і диміюють світлодіоди; DALI-драйвери, що вбудовані у світильники підсобних приміщень; релейні модулі DALI для керування недимійованими навантаженнями (наприклад, увімкнення місцевого освітлення швейних машин або витяжних вентиляторів у санвузлах за сигналом від датчика присутності).

						Арк.
						73

Структурну схему системи керування освітленням наведено на рис. 7.1.

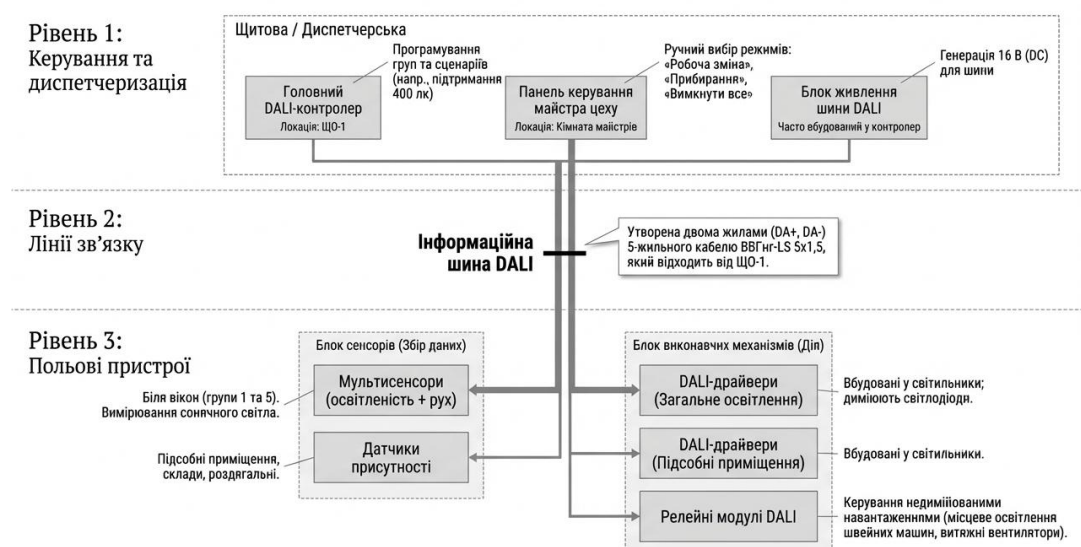


Рис.7.1. Структурна схема системи керування освітленням (на базі DALI)

Запропоновані режими автоматичного керування дозволяють динамічно адаптувати систему освітлення до реальних потреб виробничого процесу. Завдяки диміюванню з урахуванням природного світла та використанню датчиків присутності у підсобних приміщеннях, очікувана економія електроенергії на освітлення може складати від 30% до 50% порівняно з нерегульованими системами.

7.3. Світлотехнічний розрахунок та конфігурація енергоефективної освітлювальної установки

7.3.1. Розрахунок природнього та штучного освітлення цеху. Метою розрахунку є визначення необхідної площі та кількості світлових прорізів (вікон), що забезпечать нормоване значення коефіцієнта природної освітленості (КПО).

Наближене значення площі світлових прорізів при боковому освітленні визначається за формулою:

$$S_B = \frac{D_H}{100m} \cdot \frac{K_z \cdot \eta_s \cdot K_{\delta\gamma\delta}}{\tau_0 \cdot r_1} \cdot S_n = \frac{1,5}{100 \cdot 1,18} \cdot \frac{2 \cdot 9 \cdot 1,2}{0,653 \cdot 1,8} \cdot 544 = 127,08 \text{ м}^2,$$

де основні параметри приміщення та нормативи:

S_B – величина площі світлових прорізів, м^2 ;

$S_{\text{п}}$ – площа підлоги приміщення швейного цеху, м^2 ;

$D_{\text{н}}$ - нормоване значення КПО, %;

m - коефіцієнт світлового клімату (для м. Кропивницький $m=1,18$).

Коефіцієнти, що враховують архітектурні та оптичні особливості:

$K_{\text{буд}}$ - коефіцієнт затінювання вікон сусідніми будівлями;

K_3 - коефіцієнт запасу;

$\eta_{\text{в}}$ - світлова активність вікон;

r_1 - коефіцієнт підвищення КПО за рахунок відбиття світла від внутрішніх поверхонь;

τ_0 - загальний коефіцієнт світлопропускання вікна:

$$\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5 = 0,87 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,653.$$

Значення загального коефіцієнта світлопропускання τ_0 розраховується з урахуванням втрат світла у матеріалі (τ_1), рамах (τ_2), несучих (τ_3), сонцезахисних (τ_4) конструкціях та у захисній сітці (τ_5) [2].

Площа підлоги швейного цеху:

$$S_{\text{п}} = l_{\text{п}} \cdot B = 32 \cdot 17 = 544 \text{ м}^2;$$

Площа одного світлопрорізу:

$$S_{10} = 1,8 \cdot 2,8 = 5,04 \text{ м}^2;$$

Кількість світлопрорізів:

$$n = \frac{S_{\text{в}}}{S_{10}} = \frac{127,08}{5,04} = 25,21 \approx 26.$$

Розрахунок штучного освітлення швейного цеху. Метою розрахунку є визначення кількості світильників, які забезпечують нормовану освітленість швейного цеху. Визначаємо освітленість для основного приміщення застосувавши метод коефіцієнта використання світлового потоку.

Визначаємо розрахункову висоту установки світильника над освітлюваною поверхнею (рис.7.2) та відстані між рядами світильників (L) та до стіни (l) (рис.7.3).

						Арк.
						75

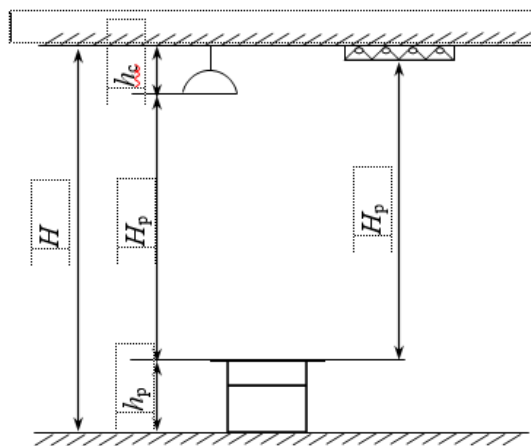


Рис.7.2. Розміщення світильників за висотою приміщення

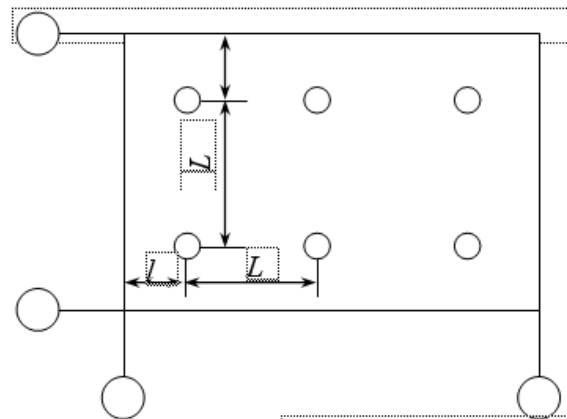


Рис.7.3. Відстані між рядами світильників та до стіни

$$H_p = H - h_p - h_c = 4,6 - (0,8 + 0,2) = 3,6 \text{ м},$$

де H - висота швейного цеху;

h_p - висота робочої поверхні у швейному цеху;

h_c - висота підвісу світильника.

Рекомендовані значення $\lambda = L/H_p$ для КСС типу $\Gamma = 0,8-1,1$:

$$L = H_p \cdot \lambda = 3,6 \cdot 1 = 3,6 \text{ м}.$$

Число рядів світильників визначається по формулі:

$$R = \frac{B - 2 \cdot l}{L} + 1 = \frac{17 - 2 \cdot 1,44}{3,6} + 1 = 4,92 \text{ шт.},$$

де l - відстань до стіни: $l = 0,4 \cdot 3,6 = 1,44$ м. Приймаємо $R = 5$ шт.

Кількість світильників в ряду визначаємо по формулі:

$$N = \frac{A - 2 \cdot l}{L} + 1 = \frac{32 - 2 \cdot 1,44}{3,6} + 1 = 9,09 \text{ шт.}$$

Остаточнo $N = 9$ шт.

Розраховуємо реальну відстань між рядами світильників по формулі:

$$L_B = \frac{B - 2 \cdot l}{R - 1} = \frac{16 - 2 \cdot 1,4}{5 - 1} = 3,3 \text{ м}$$

Розраховуємо реальні відстані між центрами світильників в ряду по формулі:

$$L_A = \frac{A - 2 \cdot l}{N - 1} = \frac{32 - 2 \cdot 1.4}{9 - 1} = 3,7 \text{ м},$$

Відстані між світильниками показано на рис. 7.4.

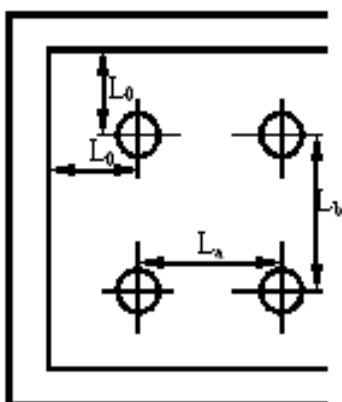


Рис.7.4. Відстані між центрами світильників

Для прямокутних приміщень перевіряється умова:

$$1 \leq \frac{L_A}{L_B} \leq 1,5$$

$$\frac{L_A}{L_B} = \frac{3,64}{3,53} = 1,03$$

Умова виконується.

Число світильників у швейному цеху:

$$N_{\text{заг}} = R \times N = 5 \times 9 = 45 \text{ шт.}$$

Схему розташування світильників у швейному цеху наведено на рис.7.5.

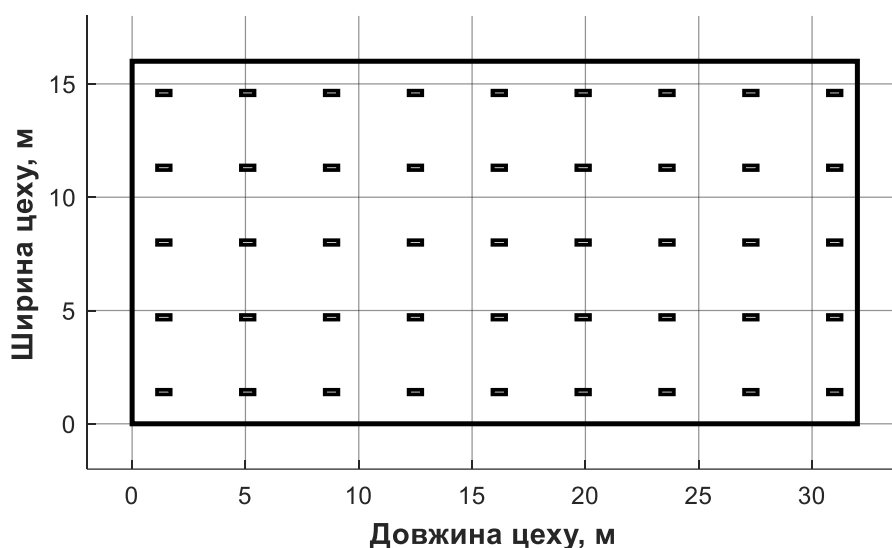


Рис.7.5. Схема розташування світильників

7.3.2. Світлотехнічний розрахунок загального рівномірного освітлення, вибір кількості та потужності джерел світла. Для проектування загального рівномірного освітлення швейного цеху застосуємо метод коефіцієнта використання світлового потоку. Базовим параметром для цієї методики є індекс приміщення, який визначається так:

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A + B)} = \frac{32 \cdot 17}{3.6 \cdot (32 + 17)} = 2,41.$$

З огляду на обрані коефіцієнти відбиття ($\rho_{\text{стелі}}=70\%$; $\rho_{\text{стін}}=50\%$; $\rho_{\text{підл.}}=30\%$), фактичне значення коефіцієнта використання світлового потоку обчислюється із застосуванням методу лінійної інтерполяції згідно за формулою:

$$\eta \equiv 77 + \frac{2,41 - 2}{3 - 2} \cdot (83 - 77) \equiv 79,48\%.$$

Розрахунковий світловий потік одного світильника, необхідний для забезпечення нормованої мінімальної освітленості, визначається за формулою:

$$\Phi_{\text{рас}} = \frac{E_{\min} \cdot Z \cdot k_z \cdot A \cdot B}{\eta \cdot N} = \frac{400 \cdot 1,1 \cdot 1,3 \cdot 32 \cdot 17}{0,795 \cdot 45} = 8700 \text{ лм},$$

де $E_{\min} = 400$ лк - нормована мінімальна освітленість робочої поверхні;

Z - коефіцієнт нерівномірності освітлення (відношення середньої освітленості до мінімальної);

K_z - коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості в процесі експлуатації;

η - коефіцієнт використання світлового потоку освітлювальної установки.

Вибираємо світильник енергозберігаючий з використанням світлодіодних матриць (випускається підприємством «RadiyLED» м. Кропивницький) Optibay-ST-3D [14] потужністю 65 Вт, світловий потік даних діодів складає 8840 Лм.

Для перевірки правильності підбору освітлювального обладнання визначаємо відсоток відхилення фактичного світлового потоку обраного світильника від розрахункового значення за формулою:

$$\Delta\Phi = \frac{|8840 - 8700|}{8840} \cdot 100 = 1.6 \text{ \%}.$$

Дане значення вписується у нормативні допуски (від -10% до +20%). За

						Арк.
						78

подібним алгоритмом проводимо вибір світлодіодних світильників для допоміжних приміщень та заносимо результати до таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 - Світлотехнічна відомість

Найменування приміщення	S, м ²	Тип світильника	Фл/Р, Лм/Вт	E _{min} , Лк	Кількість світильників
Швейний цех	544	Optibay-SV-2D	8840/65	400	45
Склади	54	Optibay-ST-2D	6925/50	50	4
Кімната відпочинку	40	Optibay-ST-2D	6925/50	150	4
Санблок	16	Optibay-ST-2D	6925/50	30	2
Кімната майстрів	32	Optibay-ST-2D	6925/50	250	4

7.3.3. Розподіл світильників на автоматизовані групи керування. Для реалізації запропонованих у п. 7.2 енергоефективних режимів, розрахований масив із 45 світильників загального освітлення (5 рядів по 9 світильників) необхідно розділити на логічні групи залежно від їх віддаленості від джерел природного світла (вікон, що розташовані з двох боків будівлі). Відстань від стін з вікнами до першого та п'ятого рядів становить 1,44 м, а відстань між рядами — 3,53 м. Враховуючи таку геометрію, пропонується наступне конфігурування:

- група 1 та група 5 створюють привіконні зони та включають 1-й та 5-й ряди світильників (по 9 шт. у кожному). Ці ряди знаходяться найближче до вікон (на відстані 1,44 м) і отримують максимальну кількість природного світла. Вони обладнуються датчиками освітленості та диміюються найактивніше (у сонячні дні їхня потужність може автоматично знижуватися до 10-20% від номінальної).
- група 2 та група 4 розглядаються як перехідні зони та включають 2-й та 4-й ряди (по 9 шт.). Розташовані на відстані 4,97 м від вікон. Природне світло сюди доходить частково, тому ці групи працюють у режимі помірної диміювання (зниження потужності до 40-50% у світлу пору доби).
- група 3, яка являється центральною зоною і включає 3-й (центральный) ряд світильників (9 шт.). Розташований по осі приміщення, на відстані 8,5 м від вікон. Ця зона практично не отримує достатнього рівня природного освітлення для

виконання робіт, тому світильники цієї групи працюють переважно на 90-100% номінальної потужності протягом усієї зміни.

Таке конфігурування дозволить контролеру системи управління (наприклад, по протоколу DALI) створювати рівномірне фонове освітлення (400 лк) по всій площі цеху, усуваючи ефект «переосвітленості» біля вікон і забезпечуючи суттєву економію електроенергії.

7.4 Електричний розрахунок автоматизованої системи електропостачання освітлення

Вибір схеми живлення та елементів освітлювальної мережі здійснюється з урахуванням вимог до безперебійності дії, техніко-економічних показників та зручності управління автоматизованою системою.

Вибір схеми електропостачання та кабельної продукції. Електропостачання робочого і аварійного освітлення виконується самостійними лініями. Для реалізації енергоефективних режимів диміювання (керування світловим потоком) з використанням цифрового протоколу DALI, структура групових ліній зазнає змін порівняно з традиційними нерегульованими схемами.

До кожної автоматизованої групи світильників (привіконної, перехідної, центральної) необхідно підвести не лише напругу живлення, але й сигнал керування. Відповідно до сучасних норм електробезпеки та вимог протоколу DALI, для групових мереж обрано вогнестійкий кабель марки ВВГнг-LS 5х1,5 мм². Цей кабель містить п'ять жил: *L*, *N*, *P* - фаза, робочий нуль та захисний провідник для забезпечення живлення та електробезпеки; *DA+*, *DA-* : дві жили для передачі цифрового сигналу керування від DALI-контролера до драйверів LED-світильників.

Застосування індексу «LS» (Low Smoke) є обов'язковим для промислових приміщень з масовим перебуванням людей (швейний цех), оскільки ізоляція такого кабелю не поширює горіння і виділяє мінімум диму.

Розрахунок електричних навантажень та вибір апаратів захисту. Незважаючи на те, що система автоматичного керування дозволяє знизити середнє

						Арк.
						80

споживання електроенергії на 30–50%, вибір перерізів провідників та апаратів захисту виконується для максимально можливого навантаження (робота всіх світильників на 100% потужності у вечірній/нічний час).

За своєю структурою освітлювальна мережа складається з двох рівнів: живильного (від трансформаторної підстанції до групових щитків) та групового (від щитків безпосередньо до світильників). Для забезпечення безперебійності роботи підприємства, живлення систем робочого та аварійного освітлення прокладається окремими, незалежними лініями.

Вихідні дані трансформаторної підстанції для проведення розрахунків:

$$S_{\text{нт}} = 630 \text{ кВ}\cdot\text{А}; \beta_{\text{т}} = 0,711; \cos \varphi_{\text{т}} = 0,86; U_{\text{хх}} = 105 \text{ \%}.$$

Переріз проводів (S , мм²) мережі розраховується за формулою:

$$S = \frac{\Sigma M + \alpha \Sigma m}{C \cdot \Delta U}, \quad (7.1)$$

де: ΣM - сума моментів розрахункової магістральної ділянки, кВт·м;

Σm - сума моментів навантаження для всіх відгалужень, кВт·м;

α - коефіцієнт приведення моментів;

C - табличний коефіцієнт, що характеризує параметри мережі (матеріал жил, напруга);

ΔU - розрахункова допустима втрата напруги, %.

Допустиме значення втрати напруги в освітлювальній мережі визначається за такою формулою:

$$\Delta U_{\text{доп}}^{\text{mn}} = U_{\text{хх}} - U_{\text{мін}} - \Delta U_{\text{т}} = 105 - 95 - 2,68 = 7,32 \text{ \%},$$

де: $U_{\text{хх}}$ - напруга холостого ходу на шинах низької напруги трансформатора (приймається $U_{\text{хх}} = 105\%$);

$U_{\text{мін}}$ – мінімально допустима напруга на затискачах найбільш віддаленої лампи (згідно з нормами $U_{\text{мін}} = 95\%$);

$\Delta U_{\text{т}}$ - втрата напруги в силовому трансформаторі, від якого живиться освітлювальна установка, %.

						Арк.
						81

Втрату напруги безпосередньо в трансформаторі з достатньою для інженерних розрахунків точністю обчислюють за формулою:

$$\Delta U_T = \beta_T \cdot (U_{ka} \cdot \cos \varphi + U_{kp} \cdot \sin \varphi)$$

$$\Delta U_T = 0,711 \cdot (1,211 \cdot 0,86 + 5,362 \cdot 0,52) = 2,678 \text{ \%}.$$

На основі попередніх розрахунків складаємо розрахункову схему освітлювальної мережі, яку наведено на рис. 7.6. Живлення від комплексної трансформаторної підстанції до групового освітлювального щитка ЩО-1 здійснюється за допомогою п'ятижильного кабелю довжиною 18 м.

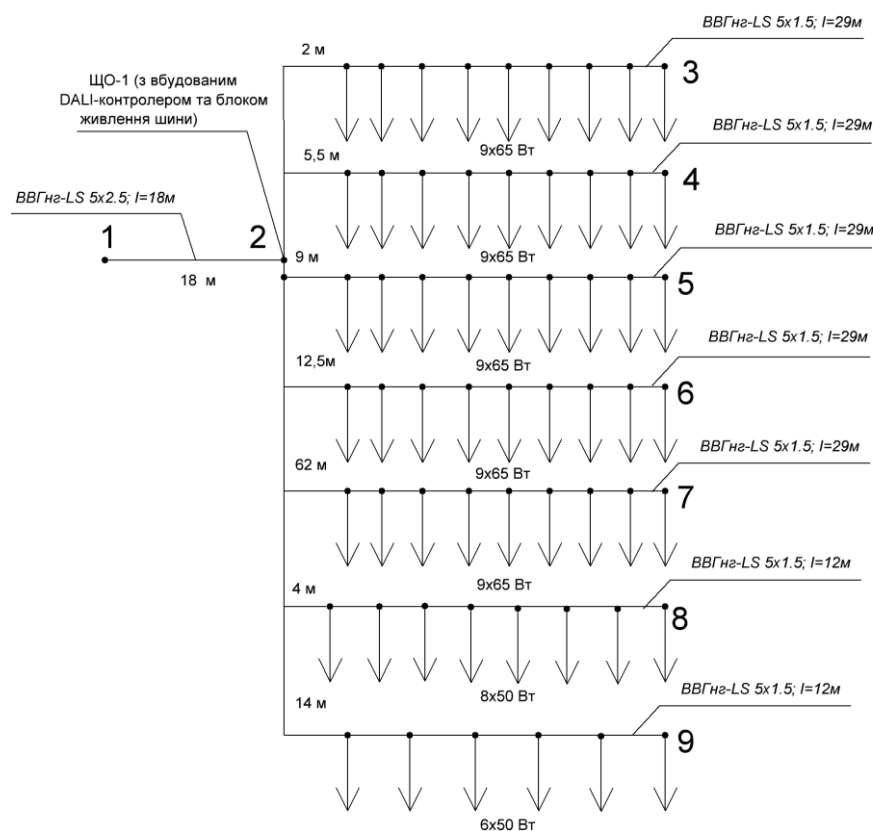


Рис.7.6 - Розрахункова схема освітлювальної мережі.

Оскільки в освітлювальній установці застосовуються світильники різної потужності (для робочих зон та допоміжних приміщень), розрахункове навантаження на вводі визначається як сума їхніх номінальних потужностей з урахуванням додаткових втрат за формулою:

$$P_p = k_n \cdot \sum_{i=1}^n K_{пра} \cdot P_{номі} = 1 \cdot (45 \cdot 65 + 14 \cdot 50) \cdot 1,2 = 4,35 \text{ кВт}$$

де k_n – коефіцієнт попиту (для освітлювальних мереж виробничих приміщень приймається $k_n = 1$);

$k_{пра}$ – коефіцієнт, що враховує втрати активної потужності в пускорегулювальній апаратурі (LED-драйверах) світлодіодних світильників, приймається $k_{пра} = 1,2$.

Вибір перерізів кабельно-провідникової продукції за умовою допустимого нагрівання здійснюється на основі розрахункових струмів ділянок мережі.

Для магістральної лінії L1-2 (ввід до ЩО-1) розрахунковий струм становить:

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi} = \frac{4,35}{1,732 \cdot 0,38 \cdot 0,86} = 7,685 \text{ кА.}$$

Згідно з вимогами щодо мінімальної механічної міцності, обираємо стандартний переріз струмопровідної жили 2,5 мм². До прокладання приймається вогнестійкий кабель марки ВВГнг-LS 5×2,5 мм² (матеріал жил - мідь, ізоляція та оболонка - полівінілхлоридний пластикат зниженої пожежної небезпеки).

Перевіряємо обраний кабель за струмовим навантаженням. Допустимий тривалий струм для даного перерізу становить $I_{доп} = 27 \text{ А}$. Оскільки виконується умова:

$$I_{доп.} = 27 \text{ А} \geq I_p = 7,685 \text{ А};$$

обраний переріз повністю задовольняє вимоги щодо нагрівання робочим струмом.

Розрахунок навантажень для відхідних групових ліній виконується за аналогічною методикою.

Оскільки групові лінії загального освітлення робочої зони цеху (ділянки мережі від 2-3 до 2-7) мають ідентичну конфігурацію та однакову кількість підключених світильників, їхнє розрахункове навантаження є однаковим. З огляду на це, детальний електричний розрахунок наведемо на прикладі однієї типової ділянки - лінії 2-3:

						Арк.
						83

$$P_{p2-3} = k_c \cdot \sum_{i=1}^n K_{пра} \cdot P_{ном i} = 1 \cdot 9 \cdot 65 \cdot 1,2 = 702 \text{ Вт.}$$

$$I_{p2-3} = \frac{P_{p2-3}}{U_\phi \cdot \cos \varphi} = \frac{0,702}{0,22 \cdot 0,86} = 3,71 \text{ А}$$

Для ділянок 2-8 та 2-9:

$$P_{p2-8} = k_\Pi \cdot \sum_{i=1}^n K_{пра} \cdot P_{ном.i2-8} = 1 \cdot 8 \cdot 50 \cdot 1,2 = 480 \text{ Вт}$$

$$I_{p2-8} = \frac{P_{p2-8}}{U_\phi \cdot \cos \varphi} = \frac{0,48}{0,22 \cdot 0,86} = 2,54 \text{ А}$$

$$P_{p2-9} = k_\Pi \cdot \sum_{i=1}^n K_{пра} \cdot P_{ном.i2-9} = 1 \cdot 6 \cdot 50 \cdot 1,2 = 360 \text{ Вт}$$

$$I_{p2-9} = \frac{P_{p2-9}}{U_\phi \cdot \cos \varphi} = \frac{0,36}{0,22 \cdot 0,86} = 1,903 \text{ А}$$

Аналогічним чином для відхідних групових ліній 2-3...2-9 обираємо мінімально допустимий за умовами механічної міцності переріз струмопровідної жили 1,5 мм². До прокладання приймається вогнестійкий кабель марки ВВГнг-LS 5×1,5 мм² (матеріал жил - мідь, ізоляція та оболонка - полівінілхлоридний пластикат зниженої пожежної небезпеки).

Допустимий тривалий струм для даного перерізу становить $I_{доп} = 19 \text{ А}$. Оскільки максимальний розрахунковий струм серед усіх групових ліній становить $I_p = 3,71 \text{ А}$, умова надійної роботи виконується із суттєвим запасом:

$$I_{доп} \geq I_p ; 19 \text{ А} \geq 3,71 \text{ А.}$$

Отже, обраний переріз повністю задовольняє вимоги перевірки за нагріванням робочим струмом.

Наступним етапом є перевірка та остаточний вибір перерізів провідників за умовою допустимої втрати напруги. Для виконання цього розрахунку необхідно обчислити відповідні моменти навантаження. Визначаємо моменти навантаження для магістралі та відгалужень від освітлювального щитка ЩО-1:

$$M_{12} = \sum P_{12} \cdot l_{12} = 4.35 \cdot 18 = 78.3 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

$$m_{23} = \sum P_{23} \cdot (l_{30} + l / 2) = 0.702 \cdot (2 + 29.12 / 2) = 11.63 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

$$m_{24} = \sum P_{24} \cdot (l_{40} + l / 2) = 0.702 \cdot (5.5 + 29.12 / 2) = 14.08 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

$$m_{25} = \sum P_{25} \cdot (l_{50} + l / 2) = 0.702 \cdot (9 + 29.12 / 2) = 16.54 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

$$m_{26} = \sum P_{26} \cdot (l_{60} + l / 2) = 0.702 \cdot (12.5 + 29.12 / 2) = 19.00 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

$$m_{27} = \sum P_{27} \cdot (l_{70} + l / 2) = 0.702 \cdot (16 + 29.12 / 2) = 21.45 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

$$m_{28} = \sum P_{28} \cdot (l_{80} + l / 2) = 0.48 \cdot (4 + 12 / 2) = 4.8 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

$$m_{29} = \sum P_{29} \cdot (l_{90} + l / 2) = 0.36 \cdot (14 + 12 / 2) = 7.2 \text{ кВт} \cdot \text{м}.$$

Визначимо переріз провідників магістральної лінії 1-2 (7.1):

$$S_{12} = \frac{M_{12} + \alpha \cdot (m_{23} + m_{24} + m_{25} + m_{26} + m_{27} + m_{28} + m_{29})}{c \cdot \Delta U_{\text{дон}}}$$

$$S_{12} = \frac{78.3 + \alpha \cdot (11.63 + 14.08 + 16.54 + 19 + 21.45 + 4.8 + 7.2)}{72 \cdot 7.32} = 0.48 \text{ мм}^2$$

Вибираємо стандартний переріз 2,5 мм² і визначаємо дійсну втрату напруги в лінії 1-2:

$$\Delta U_{1-2} = \frac{M_{12}}{c \cdot F_{12}} = \frac{78.3}{72 \cdot 2.5} = 0.435\%.$$

Для відхідних групових ліній (ділянки від 2-3 до 2-9) допустима втрата напруги становить:

$$\Delta U_{24} = \Delta U_{\text{дон}} - \Delta U_{12} = 7.32 - 0.435 = 6.885\%.$$

Перевірочний розрахунок мінімально необхідного перерізу проводів виконаємо для найбільш віддаленої та навантаженої ділянки 2-7:

						Арк.
						85

$$F_{27} = \frac{m_{27}}{C \cdot \Delta U_{cp}} = \frac{21,45}{12 \cdot 6,885} = 0,27 \text{ мм}^2.$$

Отримане розрахункове значення є значно меншим за конструктивний мінімум, тому до прокладання приймаємо стандартний переріз 1,5 мм². Оскільки на інших групових ділянках моменти навантаження ще менші, для них також остаточно приймаємо переріз кабелю ВВГнг-LS 5х1,5 мм².

Вибираємо апарат захисту для групових освітлювальних ліній. Приймаємо сучасний модульний автоматичний вимикач серії Schneider Electric Easy9 з номінальним струмом $I_n = 10 \text{ А}$ та характеристикою спрацьовування типу «С». Узгоджуємо вибраний захисний апарат із перерізом провідника за умовою надійного захисту кабельної лінії від струмів перевантаження:

$$I_{\text{доп.}} \geq I_n ; 19 \text{ А} \geq 10 \text{ А}.$$

Умова виконується, отже, кабель надійно захищений від перегріву. Для інших ліній мережі розрахунки та вибір обладнання виконуються за аналогічним алгоритмом, а підсумкові результати зведено до таблиці 7.3.

Таблиця 7.3 – Вибрані перерізи проводів.

№ ділянки мережі	I_p , А	$I_{\text{доп.}}$, А	Марка провода	Момент, кВт·м	ΔU , %	Автоматичний вимикач
L_{12} (ввід до ЩО-1)	7,685	27	ВВГнг-LS 5×2,5	78,3	0,435	Schneider Electric EZ9F34116 Easy9
L_{23} ШЦ (ряд 1 - вікно)	3,71	19	ВВГнг-LS 5×1,5	11,63	0,646	EZ9F34110 Easy9
L_{24} ШЦ (ряд 2 - перехід)	3,71	19	ВВГнг-LS 5×1,5	14,08	0,782	EZ9F34110 Easy9
L_{25} ШЦ (ряд 3 - центр)	3,71	19	ВВГнг-LS 5×1,5	16,54	0,919	EZ9F34110 Easy9
L_{26} ШЦ (ряд 4 - перехід)	3,71	19	ВВГнг-LS 5×1,5	19,0	1,056	EZ9F34110 Easy9
L_{27} ШЦ (ряд 5 - вікно)	3,71	19	ВВГнг-LS 5×1,5	21,45	1,192	EZ9F34110 Easy9
L_{28} (доп.приміщення)	2,54	19	ВВГнг-LS 5×1,5	4,8	0,267	EZ9F34110 Easy9
L_{29} (доп.приміщення)	1,903	19	ВВГнг-LS 5×1,5	7,2	0,400	EZ9F34110 Easy9

7.5. Оцінка показників енергоефективності та розрахунок економії електроенергії

Впровадження сучасної системи освітлення у швейному виробництві оцінюється за двома головними критеріями: базовою енергоефективністю самих джерел світла та додатковою економією від використання автоматизованих режимів керування.

Оцінка енергоефективності джерел світла. Основним показником енергоефективності освітлювальної установки є питома потужність, яка показує витрату електричної потужності на освітлення одного квадратного метра площі.

Для головного швейного цеху площею 544 м² обрано 45 світлодіодних світильників потужністю 65 Вт кожний. Сумарна встановлена потужність загального освітлення складає $P_{\text{вст}} = 2,925$ кВт.

Питома потужність розраховується за формулою:

$$w = P_{\text{вст}}/S = 2925/544 = 5,38 \text{ Вт/м}^2.$$

Отримане значення 5,38 Вт/м² є високим показником енергоефективності. Для порівняння: при використанні традиційних люмінесцентних ламп (які досі масово використовуються на старих підприємствах) для досягнення нормованої освітленості 400 лк, питома потужність складає близько 15–18 Вт/м². Отже, лише за рахунок переходу на LED-технології базове споживання електроенергії суттєво знижується.

Розрахунок економії від впровадження автоматизованих режимів (DALI). Застосування системи диміювання з урахуванням природного світла дозволяє отримати додаткову економію. Розрахуємо орієнтовне річне споживання електроенергії для цеху, приймаючи річний фонд робочого часу освітлення $T = 4000$ год (робота у дві зміни).

Базове річне споживання без автоматики (світильники працюють на 100% потужності весь час):

$$W_{\text{баз}} = P \cdot T = 2,925 \cdot 4000 = 11700 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

						Арк.
						87

Згідно з конфігурацією, описаною в п. 7.3.2, світильники розділені на три зони керування. Введемо усереднені коефіцієнти використання потужності (k_p) для кожної зони в денний час:

- привіконні зони (групи 1 і 5, загалом 18 світильників). Завдяки високому рівню природного освітлення, середній рівень диміювання складає 60% (світильники споживають лише 40% енергії): $k_{p1} = 0,4$.
- перехідні зони (групи 2 і 4, загалом 18 світильників). Часткове використання денного світла дозволяє знизити потужність на 30%: $k_{p2} = 0,7$.
- центральна зона (група 3, 9 світильників). Працює практично без диміювання: $k_{p3} = 1,0$.

Еквівалентний коефіцієнт використання потужності для всього цеху становитиме:

$$k_{\text{екв}} = \frac{N_1 \cdot k_{p1} + N_2 \cdot k_{p2} + N_3 \cdot k_{p3}}{N_{\Sigma}} = \frac{18 \cdot 0,4 + 18 \cdot 0,7 + 9 \cdot 1,0}{45} = 0,64$$

Отже, завдяки автоматизації система споживатиме в середньому лише 64% від своєї номінальної потужності.

Річне споживання з урахуванням автоматизації:

$$W_{\text{авт}} = W_{\text{баз}} \cdot k_{\text{екв}} = 8100 \cdot 0,64 = 5184 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Річна економія електроенергії тільки в основному цеху складе:

$$\Delta W_1 = W_{\text{баз}} - W_{\text{авт}} = 11700 - 5184 = 6516 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Оцінка економії у допоміжних приміщеннях. Додатковий резерв енергозбереження закладено в автоматизації підсобних приміщень (склади, роздягальні, санвузли). Оскільки персонал перебуває там епізодично, використання датчиків присутності дозволяє скоротити час активного горіння світильників на 50–70% порівняно з ручним керуванням вимикачами, що нівелює перевитрати енергії через «людський фактор».

Сумарна встановлена потужність освітлювальної установки допоміжних приміщень (склади, санблок, кімната відпочинку, кімната майстрів) становить:

$$P_{\text{доп}} = n \cdot P_{\text{ном}} = 14 \cdot 50 = 700 \text{ Вт} = 0,7 \text{ кВт} ,$$

де $n = 14$ шт - загальна кількість світильників; $P_{\text{ном}} = 50$ Вт - номінальна потужність одного світильника.

Базове річне споживання електроенергії цими світильниками (за умови їх постійної роботи протягом обох робочих змін без використання автоматики) визначається за формулою:

$$W_{\text{баз}} = P_{\text{доп}} \cdot T_{\text{річ}} \cdot k_c = 0,7 \cdot 4000 \cdot 1 = 2800 \text{ кВт} \cdot \text{год} .$$

Річна економія електроенергії від впровадження датчиків складе:

$$\Delta W_2 = W_{\text{баз}} \cdot K_{\text{ек}} = 2800 \cdot 0,6 = 1680 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Таким чином, проста модернізація системи освітлення допоміжних приміщень за допомогою датчиків присутності дозволить підприємству щорічно заощаджувати понад 1680 кВт·год. Враховуючи невисоку вартість самих датчиків, дане енергоефективне рішення має дуже короткий термін окупності.

Загальний економічний ефект від застосування системи диміювання та встановлення датчиків руху розраховується з урахуванням діючого тарифу на електроенергію для комерційних споживачів (приймаємо орієнтовно $C_0 = 13,2$ грн/кВт·год):

$$\Delta E = \Delta W_{\Sigma} \cdot C_0 = (\Delta W_1 + \Delta W_2) \cdot C_0 = (6516 + 1680) \cdot 13,2 = 108187 \text{ грн/рік}.$$

Комплексний підхід до розробки системи освітлення, який полягає в синергії високоефективних світлодіодних джерел (LED) та системи керування по протоколу DALI, дозволяє не лише виконати жорсткі ергономічні вимоги швейного виробництва, але й зменшити загальне споживання електроенергії на освітлення більш ніж на 35% порівняно з нерегульованими LED-системами.

						Арк.
						89

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі виконано комплексне проектування надійної, безпечної та енергоефективної системи електропостачання сучасної швейної фабрики, а також розроблено енергоефективну систему освітлення виробничого цеху.

На основі аналізу технологічного процесу та характеристик приймачів електроенергії текстильного виробництва були прийняті обґрунтовані технічні рішення, що відповідають чинним нормативним документам та сучасним стандартам енергозбереження.

Виконано розрахунок освітлювальних та силових електричних навантажень у мережах до та вище 1 кВ. На основі побудованих добових графіків споживання та розробленої картограми навантажень визначено умовний центр електричних навантажень підприємства. Це дозволило оптимально розташувати центральний розподільний пункт та п'ять цехових трансформаторних підстанцій (ТП-1...ТП-5), мінімізувавши довжину кабельних ліній та втрати електроенергії.

Обґрунтовано вибір напруги внутрішньозаводського розподілу на рівні 10 кВ. Спроектовано раціональну схему електропостачання підприємства із застосуванням радіальних і магістральних ліній живлення, яка повною мірою забезпечує вимоги щодо безперебійності електропостачання споживачів II та III категорій надійності, що переважають на швейній фабриці.

Складено баланс реактивної потужності та виконано техніко-економічний вибір компенсуючих пристроїв. Для підтримання нормативного коефіцієнта потужності ($\text{tg}\varphi=0,15$) передбачено встановлення автоматизованих конденсаторних установок на стороні 0,4 кВ (сумарною потужністю 2150 квар, розподілених між цеховими ТП) та високовольтних батарей на 10 кВ. Це рішення дозволило зменшити перетікання реактивної потужності в мережі, розвантажити силові трансформатори та зменшити втрати електроенергії.

За результатами розрахунку потужності та з урахуванням специфіки текстильного виробництва (наявність тканинного пилу, вібрацій) до встановлення

						Арк.
						90

на цехових підстанціях обрано сучасні герметичні масляні трансформатори серії ТМГ-630/10. Їх застосування гарантує високу експлуатаційну надійність, пожежну безпеку та відсутність необхідності частого технічного обслуговування.

На основі розрахованих струмів симетричного короткого замикання здійснено перевірку кабельних ліній 10 кВ на термічну стійкість. У проєкті застосовано сучасні надійні кабелі з ізоляцією зі зшитого поліетилену (АПвЕП-10). Для комплектування ЦРП обрано вакуумні вимикачі типу RV-12, які відзначаються високим комутаційним ресурсом та екологічністю.

Спроектовано систему комерційного та технічного обліку на базі інтелектуальних багатофункціональних лічильників (МТХ 3G та МТХ3) і вимірювальних трансформаторів з класом точності 0,5 (ТПЛУ-10, НАМИ-10), що забезпечує високу достовірність обліку та можливість інтеграції в АСКОЕ.

У спеціальній частині роботи проаналізовано ергономічні вимоги до освітлення швейних ліній, де виконується зорова робота високої точності. Виконано світлотехнічний розрахунок і спроектовано систему загального рівномірного освітлення з використанням енергоефективних джерел світла. Розроблено конфігурацію автоматизованого керування освітлювальними групами (залежно від рівня природного освітлення та присутності персоналу), що дозволяє досягти значної економії електроенергії при повному дотриманні санітарно-гігієнічних норм.

Запропоновані у кваліфікаційній роботі технічні рішення є економічно доцільними, технічно обґрунтованими та відповідають сучасним тенденціям розвитку промислової енергетики. Впровадження результатів проєкту дозволить забезпечити надійне функціонування технологічного обладнання швейної фабрики, підвищити загальну енергоефективність виробництва та знизити експлуатаційні витрати, має перспективи розвитку.

						Арк.
						91

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Електротехнічні системи електроспоживання / [Плешков П. Г., Зінзура В.В., Гарасьова Н. Ю., Котиш А.І., Величко Т.В., Плешков С.П.] ; М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т.- Кропивницький : ПП «Ексклюзив-Систем», 2021.-209 с.
2. Енергоефективні системи освітлення для промислових та комунально-побутових споживачів / [Плешков П. Г., Орлович А. Ю., Серебренніков С. В., Бегун А. П., Різуненко А. О., Гарасьова Н. Ю., Зінзура В. В.] ;– Харків: ТОВ «Цифра Принт», 2018.– 242с.
3. Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання / Орлович А.Ю., Плешков П.Г., Козловський О.А., Співак О.В., Котиш А.І., Величко Т.В. Навчальний посібник. Видавець Лисенко В.Ф., м.Кропивницький, 2020р. – 272 с.
4. ДСТУ-Н Б В.2.5-80:2015 Настанова з проектування систем електропостачання промислових підприємств. Київ, 2015. 83с.
5. Правила улаштування електроустановок / Міненерговугілля України. – Київ : 2017 . -617 с.
6. Кваліфікаційна робота бакалавра: метод. рекомєнд. до структури та оформлення випускної кваліфікаційної роботи для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / [уклад. П. Г. Плешков та ін.]; Міністерство освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – 80 с.
7. Трансформатори ТМГ-630/10/0,4. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://slavgorenergo.com.ua/ua/p1030221312-tmg-630-kva.html>
8. Кабельні лінії [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://odeskabel.com/images/pdf/dop_A2_ua.pdf
9. Конденсаторні установки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://electrocontrol.com.ua/ua/kondensatornye-ustanovki>
10. Вакуумні вимикачі RV-12 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.rva.rv.ua/product/rv-12/>

						Арк.
						92

11. Лічильники МТХ [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://matrixamm.ua/>
12. Трансформатори струму та напруги. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://slavgorenergo.com.ua/ua/g114156745-tplu>
13. Державні Будівельні Норми України ДБН В.2.5-28-2018 [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dbn_v_2.5-28_2018.pdf
14. Світильники RadiyLED [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://radiyled.com/ua/home/products/industrial-lighting/>
15. Міжнародний стандарт IEC 62386 [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://www.dali-alliance.org/standards/IEC62386.html>
16. EN 15232 «Енергетична ефективність будівель. Вплив автоматизації, систем управління та менеджменту будівель».
17. EN 15193 «Енергетична ефективність будівель: потреба в енергії для освітлення».
18. ДСТУ 8546:2015 Світильники зі світлодіодними джерелами світла. Загальні технічні умови [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=71689
19. Patriot-nrg Міжнародний портал з енергозбереження [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://patriot-nrg.com/content/ekonomiya-elektroenergiyi-v-osvitlyuvalnyh-ustanovkah>
20. ДСТУ IEC/PAS 62612:2012 Лампи світлодіодні загального освітлення, поєднані з допоміжними пристроями. Вимоги до характеристик
21. ДСТУ-П IEC/PAS 62663-1:2015 Лампи світлодіодні не поєднані з допоміжними пристроями. Частина 1. Вимоги щодо безпеки
22. ДСТУ-П IEC/PAS 62663-2:2014 Лампи світлодіодні не поєднані з допоміжними пристроями. Частина 2. Вимоги щодо характеристик
23. ДСТУ-П IEC/PAS 62717:2014 Модулі світлодіодні загального освітлення. Вимоги до характеристик

ДОДАТОК А

**Вибір високовольного обладнання розподільчого пристрою,
трансформаторів струму та напруги**

Таблиця А.1 - Вибір та перевірка ввідних і секційного вимикачів 10 кВ у ЦРП

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри вимикача
10 кВ	$U_{\text{мер.}} \leq U_{\text{ном}}$	10 кВ
209,82 А	$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}$	630 А
4,68 кА	$I_{\text{пт}} \leq I_{\text{відк.ном}}$	20 кА
4,68 кА	$I'' \leq I_{\text{дин}}$	20 кА
7,23 кА	$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{дин}}$	52 кА
4,47 кА ² · с	$B_{\text{к}} \leq I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}}$	$20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Таблиця А.2 - Вибір та перевірка вимикачів 10 кВ для відхідних ліній (до цехових ТП)

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри вимикача
10 кВ	$U_{\text{мер.}} \leq U_{\text{ном}}$	10 кВ
52,72 А	$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}$	630 А
4,68 кА	$I_{\text{пт}} \leq I_{\text{відк.ном}}$	20 кА
4,68 кА	$I'' \leq I_{\text{дин}}$	20 кА
7,23 кА	$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{дин}}$	52 кА
4,19 кА ² · с	$B_{\text{к}} \leq I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}}$	$20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Таблиця А.3 - Технічна характеристика КРП КУ-10.

Параметри	Каталожні дані
Номінальна напруга	10 кВ
Номінальний струм, А: Збірних шин	1000 А
Шафи	630А
Кількість і переріз силових кабелів, мм ²	4 (3х240)
Номінальний струм відключення, кА	31,5
Електродинамічна стійкість, кА	81
Тип привода до вимикача	Пружинний
Тип вимикача	RV-12

Таблиця А.4 - Вибір та перевірка трансформаторів струму на вводах 10 кВ

Параметри мережі	Розрахункова формула	Параметри ТР
10 кВ	$U_{\text{мер.}} \leq U_{\text{ном}}$	10 кВ
209,82 А	$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}$	300 А
7,23 кА	$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{дин}}$	128 кА
4,47 кА ² · с	$B_{\text{к}} \leq I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}}$	$40^2 \cdot 3 = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Таблиця А.5 - Розрахунок потужності споживачів власних потреб.

№ п/п	Споживач	n, шт	Встановлена потужність, кВт		cosφ/tgφ	P _{вст.}	Q _{вст.}
			P _{ном}	P _Σ			
1	Підігрів шаф КРП	20	0,6	12,0	1/0	12,0	0
2	Опалення та освітлення приміщення	1	6	6	0,97/0,25	6	1,5
3	Навантаження оперативних ланцюгів	2	3	6	0,97/0,25	6	1,5
4	Зовнішнє освітлення	2	3	6	0,5/1,73	6	10,38
	Ітого					30,0	13,38

Таблиця А.6 - Розрахунок вторинного навантаження трансформаторів струму на вводі

Прилад	Клас точності	Навантаження фази, ВА		
		А	В	С
Лічильник МТХ3G	0,2	3,6	-	3,6
Амперметр Е335	1,0	0,5	-	-
Всього		4,1	-	3,6

Таблиця А.7 - Розрахунок вторинного навантаження трансформаторів струму на відхідних лініях

Прилад	Клас точності	Навантаження фази, ВА		
		А	В	С
Лічильник активної та реактивної енергії МТХ3	2	6,0	-	6,0
Амперметр Е335	1,0	0,5	-	-
Всього		12,5	-	12,0

Таблиця А.8 - Розрахунок вторинного навантаження трансформатору напруги

Прилад	Тип	Кіл-ть	S, В·А	Загальна потужність	
				Σ P, Вт	Σ Q, вар
Вольтметр (шини 10кВ)	Е335	1	2	2	-
Лічильник на вводі	МТХ3G	1	3,6	3,3	1,4
Лічильник на відхідних лініях	МТХ3	6	2,4	14,4	2,38
Всього:				19,7	3,78