Луцький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет архітектури, будівництва та енергетики
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))
Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»

Проєктування системи електропостачання меблевої фабрики встановленою потужністю 970 кВт

спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)
освітня програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ЕЕ-42
Гарматюк Микола Михайлович

_____
(підпис)

Керівник:
д.т.н., професор
Давиденко Людмила Валеріївна

_____
(підпис)

Кваліфікаційний проєкт
допущено до захисту
«___» _____ 2026 р.
Гарант освітньої програми:
к.т.н., доцент
Волинець Владислав Ігорович

_____
(підпис)

Луцьк - 2026

АНОТАЦІЯ

Гарматюк М.М. Проєктування системи електропостачання меблевої фабрики встановленою потужністю 970 кВт. Рукопис.

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

Кваліфікаційний проєкт бакалавра складається з п’яти розділів, списку використаних джерел, додатків.

У проєкті розроблено систему електропостачання об’єкту проєктування. Проєктування виконане на основі електротехнічних розрахунків: розрахунку силових електричних навантажень з використанням методу впорядкованих діаграм на основі ієрархічного підходу; розрахунку освітлювальних навантажень на основі методу питомої густини освітлювального навантаження; розрахунку техніко-економічних показників прийнятих проєктних рішень.

У результаті роботи отримали систему електропостачання даного об’єкту проєктування з високими показниками економічної обґрунтованості.

Прийняті проєктні рішення дозволяють перейти до їх практичної реалізації й впровадження спроєктованої системи електропостачання.

Ключові слова: система електропостачання (СЕП), лінія електропередачі, електроприймачі, електричні навантаження, струми короткого замикання, компенсація реактивної потужності, електрична апаратура, електробезпека.

ANNOTATION

Harmatiuk M.M.. Designing a furniture factory power supply system with an installed capacity of 970 kW. Manuscript.

Qualification project of the bachelor of EP "Electric power, electrical engineering and electromechanics" specialty 141 Electric power, electrical engineering and electromechanics. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2026.

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

The project developed power supply system of the bakery. The design is performed on the basis of electrical calculations: calculation of power electrical loads using the method of ordered diagrams based on a hierarchical approach; calculation of lighting loads based on the method of specific density of lighting load; calculation of technical and economic indicators of design decisions.

As a result, the power supply system of this enterprise with high indicators of economic feasibility was obtained.

The adopted design decisions allow to pass to their practical realization and introduction of the designed system of power supply.

Keywords: power supply system, power line, power receivers, electrical loads, short-circuit currents, reactive power compensation, electrical equipment, electrical safety.

ЗМІСТ

Стор.

ВСТУП 8

РОЗДІЛ 1 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ’ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ 10

РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ 13

2.1. Розрахунок електричних навантажень 13

2.1.1. Розрахунок силових електричних навантажень. 13

2.1.2. Розрахунок освітлювальних навантажень. 16

2.2. Побудова картограми і визначення теоретичного центру навантажень 17

2.3. Розрахунок повного навантаження на шинах НН трансформаторів ТП 19

2.4. Вибір числа і потужності трансформаторів трансформаторної підстанції і компенсуючих пристроїв 19

2.5. Компенсація реактивної потужності на вищих рівнях СЕП. 21

2.6. Визначення електричних навантажень на вищих рівнях СЕП 22

2.7. Проєктування мережі живлення підприємства 23

2.7.1. Вибір джерела та напруги живлення 23

2.7.2. Вибір перерізу КЛ-10 кВ 24

2.8. Розрахунок струму короткого замикання в мережі 10 кВ 26

2.9. Перевірка вибраного перерізу кабельної лінії на термічну стійкість струму короткого замикання 28

2.10. Вибір обладнання на напругу 10 кВ 29

2.10.1. Вибір роз′єднувачів 29

2.10.2. Вибір вимикачів навантаження 30

2.10.3. Вибір контрольно-вимірювальних приладів 31

2.10.4. Вибір трансформаторів струму на шинах джерела живлення 32

2.11. Проєктування внутрішньозаводської розподільчої мережі 33
2.11.1. Вибір схеми внутрішньозаводської мережі 33
2.11.2. Вибір ввідних розподільчих пристроїв 34
2.11.3. Вибір перерізу КЛ внутрішньозаводської мережі 35
2.12. Розрахунок струмів КЗ в мережі до 1 кВ. 35
2.13. Вибір обладнання на напругу 0,4 кВ 39
2.13.1. Вибір комірок розподільчого пристрою 0,4 кВ ТП 39
2.13.2. Вибір автоматичних вимикачів 39
2.13.3. Вибір рубильників 40
2.13.4. Вибір трансформаторів струму. 40
2.14. Розрахунок цехового електропостачання 43
2.14.1. Вибір схеми цехової мережі 43
2.14.2. Розрахунок цехової мережі живлення 43
РОЗДІЛ 3 ПРОЄКТУВАННЯ ОСВІТЛЮВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ЦЕХУ . 47
3.1. Характеристика приміщення цеху як об’єкту освітлення 47
3.2. Вимоги до освітлювальної установки цеху 47
3.3. Вибір систем освітлення цеху та їх характеристика 49
3.4. Розрахунок освітлювальної установки системи загального освітлення 51
3.5. Розрахунок освітлювальної установки аварійного освітлення 54
3.6. Виконання мережі живлення освітлювальної установки 55
РОЗДІЛ 4 САПР 56
РОЗДІЛ 5 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА 58
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ 62
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ 65
Додатки 66

ВСТУП

Сучасний розвиток промисловості характеризується зростанням рівня автоматизації технологічних процесів, підвищенням енергоємності виробництва та посиленням вимог до надійності й якості електропостачання. Ефективне функціонування промислових підприємств безпосередньо залежить від стабільної, безпечної та економічно обґрунтованої системи електропостачання, яка забезпечує безперервність виробничих процесів і мінімізацію енергетичних втрат. Ефективне електропостачання промислового об’єкту передбачає не лише забезпечення необхідної потужності електроприймачів, але й підтримання належної якості електроенергії, включаючи стабільність напруги, допустимі рівні гармонік та електромагнітну сумісність обладнання. У зв’язку з цим одним із пріоритетних напрямів розвитку є підвищення енергоефективності систем передачі та розподілу електричної енергії, що досягається шляхом впровадження сучасних технічних рішень, застосування енергоощадного електрообладнання та оптимізації режимів роботи системи.

Реалізація цього завдання передбачає вдосконалення проєктно-конструкторських рішень, впровадження сучасного надійного електрообладнання, а також забезпечення його раціональної та економічно обґрунтованої експлуатації.

Проєктування систем електропостачання промислових об’єктів потребує комплексного підходу до аналізу електричних навантажень, вибору джерел живлення, побудови структури електричних мереж, визначення режимів роботи електрообладнання, а також підбору засобів захисту, автоматизації та обліку електроенергії. При цьому, необхідним є врахування великої кількості факторів, зокрема, характеру електричних навантажень, категорії надійності електроприймачів, розміщення виробничих цехів на території підприємства, особливості технологічного процесу, умови навколишнього середовища, вимоги до безпеки та можливості подальшого розвитку підприємства.

Визначення електричних навантажень підприємства є першим і важливим етапом проєктування і є основою для вибору потужності трансформаторів, перерізів кабельних ліній, параметрів розподільчих пристроїв та іншого електротехнічного обладнання. Правильна оцінка розрахункових навантажень дозволяє уникнути як перевантаження елементів системи, що призводить до їх передчасного зносу, так і необґрунтованого завищення встановлених потужностей, що спричиняє зайві капітальні витрати.

Серед завдань проєктування систем електропостачання промислових підприємств є забезпечення необхідної якості електричної енергії, заданого ступеня надійності електропостачання, електромагнітної сумісності електроприймачів із мережею живлення, а також досягнення максимально можливої економії електроенергії та матеріальних ресурсів.

Система електропостачання повинна бути достатньо гнучкою, щоб забезпечити можливість модернізації та розширення підприємства без значних капітальних витрат. Це вимагає використання резервування окремих елементів системи, раціонального вибору схем електропостачання та оптимального розміщення електрообладнання.

РОЗДІЛ 1
КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ

Меблева фабрика є промисловим підприємством деревообробної галузі, основною діяльністю якого є виготовлення корпусних та м'яких меблів із використанням масиву деревини, ДСП, МДФ та інших матеріалів. Виробничий процес характеризується значною кількістю електрифікованого технологічного обладнання та наявністю допоміжних інженерних систем.

В склад меблевої фабрики входять: цех№1, цех №2, цех корпусних меблів, цех товарів широкого вжитку, цех м'яких меблів, а також склади, ремонтний цех та адміністративна будівля.

Встановлену потужність приймачів та площу цехів наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Встановлена потужність та площа цехів

Назва об'єкту	$P_н$, кВт	F, м^2
Цех №1	200	1152
Цех №2	195	1152
Цех корпусних меблів	150	1440
Ремонтний цех	88	648
Склади	75	1404
Адміністративна будівля	20	864
Цех товарів широкого вжитку	97	864
Цех м'яких меблів	145	1152

За категорією надійності електропостачання електроприймачі основного виробництва меблевої фабрики належать до II категорії.

Протипожежне обладнання, системи безпеки, належать до I категорії надійності.

Число годин використання максимуму електричного навантаження складає: $T_{макс.}$= 2300 год/рік.

Характерною особливістю підприємств деревообробної промисловості є підвищена пожежна небезпека, зумовлена наявністю деревного пилу та легкозаймистих матеріалів (деревини, лакофарбових покриттів, клеїв). У зв'язку з цим система електропостачання повинна передбачати застосування відповідного електрообладнання, захисних пристроїв, надійного заземлення та системи вирівнювання потенціалів.

Технологічні процеси меблевої фабрики характеризуються значною кількістю електроприймачів різної потужності та режимів роботи.

До складу електроспоживачів меблевого виробництва входять деревообробні верстати та автоматизовані виробничі лінії, зокрема: форматно-розкрійні, стрічкопильні, фрезерні, свердлильні, шліфувальні тощо верстати; кромкооблицювальні лінії; пресове обладнання; фарбувальні та сушильні установки; вентиляційні системи; системи аспірації та пиловидалення; освітлювальні установки виробничих, складських та адміністративних приміщень.

Особливістю електричних навантажень меблевої фабрики є значна частка електродвигунів малої та середньої потужності, наявність змінних за характером навантажень, що зумовлено циклічністю роботи обладнання, нерівномірність графіка навантаження протягом робочої зміни, а також наявність пускових струмів, що виникають під час запуску технологічного обладнання.

Значну частину споживаної електроенергії становлять електроприводи систем аспірації та вентиляції, які працюють тривалий час у безперервному режимі. Значна частка обладнання працює у змінному або повторно-короткочасному режимі, що ускладнює визначення розрахункових електричних навантажень та вимагає ретельного підходу до проєктування системи електропостачання.

Джерелом живлення підприємства є трансформаторна підстанція 110/10 кВ, яка знаходиться на відстані 0,9 км.

Потужність короткого замикання на шинах 10 кВ підстанції $S''_{кз}$ = 85 МВА.

На підприємстві необхідно передбачити компенсацію реактивної потужності для підвищення коефіцієнту потужності.

Реактивна потужність, дозволена до використання в години максимуму активного ЕН енергосистеми: $Q_{e.max}$ = 70 кВАр.

РОЗДІЛ 2
ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ

В даному проєкті використані загальноприйняті методи розрахунку електричних навантажень (ЕН), а саме: для розрахунку силових ЕН - метод впорядкованих діаграм; для розрахунку освітлювальних ЕН - метод питомої потужності на освітлювану площу; для визначення ЕН на вищих рівнях системи електропостачання (СЕП) – ієрархічний підхід.

2.1. Розрахунок електричних навантажень

Порядок розрахунку ЕН згідно [1-3] наведений в додатку А.

2.1.1. Розрахунок силових електричних навантажень

Розрахунок силового електричного навантаження здійснюємо методом впорядкованих діаграм згідно рекомендацій [1-3], наведених в додатку А.

Детальний розрахунок силових ЕН проводимо на прикладі цеху товарів широкого вжитку.

Попередньо всі споживачі дільниці розділено на групи споживачів із змінним та практично постійним графіком навантаження.

Встановлену потужність, середнє навантаження за найбільш завантажену зміну визначаємо як суму відповідних значень групи електроприймачів.

Результати розрахунків середнього навантаження кожної групи електроприймачів зведено в таблицю 2.1

Результати розрахунків максимального навантаження кожної групи електроприймачів зведено в таблицю 2.2.

Розрахунок електричних навантажень по інших об′єктах підприємства здійснюємо аналогічно і результати зводимо в таблицю 2.3.

Таблиця 2.1 – Розрахунок електричних навантажень цеху

Назва електроприймачів		n	Номінальна потужність, кВт		$K_в$	$tg\varphi$	Середнє навантаження	
			Одного ЕП	загальна $P_н$			$P_{с.зм}$, кВт	$Q_{с.зм}$, кВАр
І група. Слюсарно-механічне відділення								
З змінним графіком								
1	Верстат шліфувальний	1	3,5	3,5	0,14	1,33	0,49	0,65
2	Верстат свердлильний	2	2,2	4,4	0,14	1,33	0,616	0,82
3	Верстат розточувальний	1	3,2	3,2	0,14	1,33	0,448	0,60
4	Верстат фрезерний	1	5,5	5,5	0,14	1,33	0,77	1,03
5	Верстат гвинторізний	1	1,5	1,5	0,14	1,33	0,21	0,28
6	Верстат токарний	2	5,6	11,2	0,14	1,33	1,568	2,09
7	Верстат точильний двосторонній	2	0,75	1,5	0,14	1,33	0,21	0,28
8	Верстат вертикально-свердлильний	2	1,5	3	0,14	1,33	0,42	0,56
Разом з змінним графіком		12		33,8	0,14		4,732	6,31
З постійним графіком								
9	Вентиляційна установка	2	1,5	3	0,65	0,75	1,95	1,46
10	Калориферна установка	1	1,6	1,6	0,8	0,88	1,28	1,13
Разом з постійним графіком		3		4,6			3,23	2,59
Разом по групі І		15		38,4			7,962	8,90
ІІ група. Деревообробне відділення								
З змінним графіком								
11	Верстат деревообробний	2	6,5	13	0,14	1,33	1,82	2,43
12	Верстат циркулярний	1	2,5	2,5	0,14	1,33	0,35	0,47
13	Верстат фугувальний	2	3,5	7	0,14	1,33	0,98	1,31
14	Рейсмусовий верстат	1	5	5	0,14	1,33	0,7	0,93
Разом з змінним графіком		6		27,5	0,14		3,85	5,13
З постійним графіком								
15	Вентиляційна установка	2	1,5	3	0,75	0,75	2,25	1,69
Разом з постійним графіком		2		3			2,25	1,69
Разом по групі ІІ		8		30,5			6,1	6,82
ІІІ група. Столярне відділення								
З змінним графіком								
16	Верстат свердлильний	2	4,5	9	0,16	1,33	1,44	1,92
17	Верстат шліфувальний	2	3,5	7	0,16	1,33	1,12	1,49
18	Універсальний круглошліфувальний верстат	1	7,6	7,6	0,2	1,33	1,52	2,03
Разом з змінним графіком		5		23,6			4,08	5,44
З постійним графіком								
19	Вентиляційна установка	3	1,5	4,5	0,75	0,75	3,375	2,53
Разом з постійним графіком		3		4,5			3,375	2,53
Разом по групі ІІІ		8		28,1			7,455	7,97
Разом по цеху		31		97			21,52	23,69

Таблиця 2.2 – Розрахунок максимальних електричних навантажень

Характеристика електроприймачів групи	n	Номінальна потужність $P_н$, кВт	$K_в$	Середнє навантаження		m	$n_{еф}$	$K_м$	Максимальне навантаження		
				$P_{с.зм}$, кВт	$Q_{с.зм}$, кВАр				$P_м$, кВт	$Q_м$, кВАр	$S_м$, кВА
I група. Слюсарно-механічне відділення											
З змінним графіком	12	33,8	0,14	4,732	6,31	7,47	10	2,16	10,22	6,31	
З постійним графіком	3	4,6		3,23	2,59				3,23	2,59	
Разом по групі I	15	38,4		7,962	8,90				13,45	8,90	16,13
II група. Деревообробне відділення											
З змінним графіком	6	27,5	0,14	3,85	5,13	2,6	6	2,70	10,40	5,65	
З постійним графіком	2	3		2,25	1,69				2,25	1,69	
Разом по групі II	8	30,5		6,1	6,82				12,65	7,33	14,62
III група. Столярне відділення											
З змінним графіком	5	23,6	0,17	4,08	5,44	2,17	5	2,80	11,42	5,98	
З постійним графіком	3	4,5		3,375	2,53				3,375	2,53	
Разом по групі III	8	28,1		7,455	7,97				14,80	8,52	17,07
Разом по цеху	31	97		21,52	23,69				40,90	24,75	47,80

Таблиця 2.3 - Розрахунок силових електричних навантажень

Назва об’єкту	$P_{вст}$, кВт	$P_{с.зм}$, кВт	$Q_{с.зм}$, кВАр
Цех №1	200	52,78	60,31
Цех №2	195	51,23	65,62
Цех корпусних меблів	150	39,45	35,55
Ремонтний цех	88	25,15	28,34
Склади	75	43,42	30,56
Адміністративна будівля	20	13,23	10,95
Цех товарів широкого вжитку	97	21,52	23,69
Цех м'яких меблів	145	58,33	52,33
Разом	970	305,11	307,35

2.1.2. Розрахунок освітлювальних навантажень

Під час проєктування системи штучного освітлення виробничих, адміністративно-побутових і допоміжних приміщень були враховані вимоги нормативних документів [3], які встановлюють основні параметри, критерії та методи розрахунку освітлювальних установок. Світлотехнічні рішення приймалися з урахуванням нормованих значень освітленості для кожного виду приміщень відповідно до класу зорових робіт, характеру технологічних процесів і необхідної точності виконання виробничих операцій.

Підбір освітлювального обладнання здійснювався з урахуванням функціонального призначення приміщень, категорії виробничого середовища, можливого впливу пилу та вологи, а також вимог електробезпеки й експлуатаційної надійності. Особлива увага приділялася забезпеченню рівномірності освітлення, зниженню засліплювальної дії світильників та створенню комфортних умов праці персоналу.

З метою підвищення енергоефективності, надійності роботи освітлювальної системи та забезпечення стабільних світлотехнічних характеристик у проєкті передбачено застосування світильників зі світлодіодними (LED) джерелами світла. Використання LED-технологій дозволяє зменшити експлуатаційні витрати, підвищити термін служби освітлювального обладнання, знизити споживання електричної енергії та покращити показники коефіцієнта пульсації світлового потоку.

Розрахунок системи освітлення виконано відповідно до методики, наведеної у додатку А, із дотриманням вимог чинних нормативних документів. Під час розроблення системи освітлення також враховано необхідність забезпечення раціонального розміщення світильників, вибору оптимальної висоти їх встановлення та схеми живлення освітлювальної мережі. Передбачено поділ освітлення на робоче, аварійне та евакуаційне відповідно до вимог нормативних документів, що забезпечує безпечну експлуатацію об’єкта у разі порушення основного електроживлення.

Результати розрахунку записуємо в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 - Розрахунок освітлювального навантаження

	Назва об'єкта	F, м^2	E, лк	h, м	$P_{пит}$ Вт/м^2	$K_з$	$K_{пра}$	$K_п$	$P_{н.о}$ Вт	$P_{р.о}$ кВт	$Q_{р.о}$, кВАр
1	Цех №1	1152	150	4	9	1,5	1,1	0,8	10368	10,26	6,36
2	Цех №2	1152	200	5	9	1,3	1,1	0,8	10368	10,26	6,36
3	Цех корпусних меблів	1440	200	5	11	1,5	1,1	0,8	15840	15,68	9,72
4	Ремонтний цех	648	100	5	8	1,3	1,1	0,8	5184	5,13	3,18
5	Склади	1404	200	4	8	1,3	1,1	0,8	11232	11,12	6,89
6	Адміністративна будівля	864	300	3	12	1,3	1,1	0,85	10368	9,69	3,19
7	Цех товарів широкого вжитку	864	200	5	11	1,5	1,1	0,8	9504	9,41	5,83
8	Цех м'яких меблів	1152	200	5	11	1,3	1,1	0,8	12672	12,55	4,12
9	Освітлення території	17150			0,5				8575	8,57	3,68
	Разом									92,69	49,34

2.2. Побудова картограми і визначення теоретичного ЦЕН

Раціональне розміщення джерел живлення та елементів СЕП промислового підприємства значною мірою залежить від просторового розподілу електричних навантажень на території об’єкта. З цією метою виконується побудова картограми електричних навантажень і визначення теоретичного центру електричних навантажень (ЦЕН), що дозволяє обґрунтувати місце встановлення трансформаторної підстанції.

Картограма навантажень являє собою графічне відображення розташування споживачів електроенергії на генеральному плані підприємства із урахуванням величин їх розрахункових електричних потужностей. Картограма дозволяє наочно оцінити концентрацію електричних навантажень та визначити зони найбільшого енергоспоживання підприємства. Необхідні для побудови картограми розрахунки виконуємо згідно методики в додатку А.

Результати розрахунку записуємо в таблицю 2.5.

Таблиця 2.5 - Картограма електричних навантажень

Назва об'єкту	$P_{с.зм}$, кВт	$P_{р.о.}$, кВт	$P_р$, кВт	r, см	α	x, см	y, см	$P_р \cdot x$, кВт · см	$P_р \cdot y$, кВт · см
Цех №1	52,78	10,26	63,04	4,48	58,61	56	37,4	3530,48	2357,86
Цех №2	51,23	10,26	61,49	4,43	60,09	44,3	37,4	2724,20	2299,89
Цех корпусних меблів	39,45	15,68	55,13	4,19	102,40	15,8	37,4	871,08	2061,92
Ремонтний цех	25,15	5,13	30,28	3,11	61,01	43	11,8	1302,13	357,33
Склади	43,42	11,12	54,54	4,17	73,40	23,5	11,8	1281,68	643,57
Адміністративна будівля	13,23	9,69	22,92	2,70	152,24	66,8	29,2	1531,33	669,38
Цех товарів широкого вжитку	21,52	9,41	30,93	3,14	109,52	11,5	24,1	355,68	745,39
Цех м'яких меблів	58,33	12,55	70,88	4,75	63,72	59,6	12,6	4224,17	893,03
Разом								15820,75	10028,36

Теоретичний центр електричних навантажень — це умовна точка на плані підприємства, координати якої відповідають центру ваги всіх електричних навантажень. Розміщення джерела живлення поблизу цієї точки забезпечує мінімальну сумарну довжину електричних мереж і зменшення втрат електроенергії.

Визначення теоретичного центру електричних навантажень дозволяє обґрунтувати оптимальне розташування трансформаторної підстанції; зменшити довжину кабельних та повітряних ліній; знизити втрати електричної енергії в мережах; скоротити витрати на кабельну продукцію та монтаж; покращити техніко-економічні показники системи електропостачання.

Для визначення центру електричних навантажень за генеральним планом визначено координати центрів навантаження кожного об’єкту.

Теоретичний ЦЕН підприємства має координати:

$$X_ц = \frac{15280,75}{389,22} = 40,65 \text{ см};$$

$$У_ц = \frac{10028,36}{389,22} = 25,77 \text{ см}.$$

Положення підстанції коригується з урахуванням реальних умов забудови підприємства, тому фактичне місце розташування підстанції може відрізнятися від теоретичного центру через технологічні, архітектурні, протипожежні або експлуатаційні обмеження.

2.3. Розрахунок повного навантаження на шинах НН трансформаторів ТП

Результати розрахунку розрахункового електричного навантаження на шинах низької напруги (НН) ТП записуємо в таблицю 2.6.

Таблиця 2.6 - Розрахунок сумарного навантаження

Назва об'єкта	$P_{с.зм}$, кВт	$Q_{с.зм}$, кВАр	$P_{р.о}$, кВт	$Q_{р.о}$, кВАр	$P_р$, кВт	$Q_р$, кВАр	$S_р$, кВА
Цех №1	52,78	60,31	10,26	6,36	63,04	66,67	91,76
Цех №2	51,23	65,62	10,26	6,36	61,49	71,98	94,67
Цех корпусних меблів	39,45	35,55	15,68	9,72	55,13	45,27	71,34
Ремонтний цех	25,15	28,34	5,13	3,18	30,28	31,52	43,71
Склади	43,42	30,56	11,12	6,89	54,54	37,45	66,16
Адміністративна будівля	13,23	10,95	9,69	3,19	22,92	14,14	26,93
Цех товарів широкого вжитку	21,52	23,69	9,41	5,83	30,93	29,52	42,76
Цех м'яких меблів	58,33	52,33	12,55	4,12	70,88	56,45	90,61
Освітлення території			8,575	3,6873	8,58	3,69	9,33
Разом	305,11	307,35	92,69	49,34	397,8	356,69	534,29

2.4. Вибір числа і потужності трансформаторів трансформаторних підстанцій і компенсуючих пристроїв

Одним із важливих етапів проєктування системи електропостачання промислового підприємства є визначення кількості та номінальної потужності силових трансформаторів трансформаторної підстанції (ТП), а також розрахунок

необхідної потужності пристроїв компенсації реактивної потужності. Визначення кількості та потужності трансформаторів трансформаторної підстанції, а також розрахунок необхідної потужності низьковольтних комплектних конденсаторних установок дозволяють забезпечити надійну, економічну та енергоефективну роботу системи електропостачання підприємства.

Значна частка електроприймачів промислових підприємств представлена асинхронними електродвигунами, що споживають реактивну потужність. Це призводить до збільшення струмів у мережі; додаткових втрат електроенергії; зниження пропускної здатності мереж. Для підвищення коефіцієнта потужності застосовуються низьковольтні комплектні конденсаторні установки (НККУ).

Для промислового підприємства застосовується централізована автоматична компенсація з регулюванням ступенів потужності. Низьковольтні комплектні конденсаторні установки встановлюються на шинах 0,4 кВ трансформаторної підстанції (централізована компенсація).

Правильно вибрані параметри обладнання сприяють зниженню втрат електроенергії, покращенню режимів роботи електричних мереж і підвищенню коефіцієнта потужності.

Розрахунок кількості та потужності трансформаторів ТП, а також необхідної потужності низьковольтних комплектних конденсаторних установок (ККУ) виконано згідно рекомендацій [2]. Методику їх вибору наведено в додатку А.

Для вибору економічно доцільної кількості та потужності трансформаторів та потужності ККУ виконуємо порівняння таких варіантів:

- I варіант – трансформатор типу ТМ-160/10, для якого:

$U_{вн}$=10 кВ; $u_к$=5,5%; $\Delta P_{хх}$ =0,73 кВт; $\Delta P_{кз}$ =2,65 кВт; $I_{хх}$ = 2,4%;

- II варіант – трансформатор типу ТМ-250/10, для якого:

$U_{вн}$=10 кВ; $u_к$=4,5%; $\Delta P_{хх}$ =1,05 кВт; $\Delta P_{кз}$ =3,7 кВт; $I_{хх}$ = 2,3%;

- III варіант – трансформатор типу ТМ-400/10, для якого:

$U_{вн}$=10 кВ; $u_к$=4,5%; $\Delta P_{хх}$ =1,45 кВт; $\Delta P_{кз}$ =5,5 кВт; $I_{хх}$ = 2,1%.

Результати розрахунків зведемо в таблицю 2.7.

Таблиця 2.7 – Вибір потужності трансформаторів

Параметр	I варіант	II варіант	III варіант
S_T, кВА	160	250	400
$N_{\min}$	3,11	1,99	1,24
N_T	4	2	2
$Q_{\max T}$, кВАр	322,34	41,94	501,36
$Q_{нк1}$, кВАр	34,35	314,75	-144,67
$Q_{нк1}^{кку}$	УКРМ 0,4-25/3-5	УКРМ 0,4-160/6-20	-
$Q_{нк1}^{кку}$, кВАр	100	320	0
$Q_{нк2}$, кВАр	-62,31	-213,31	-43,31
$Q_{нк2}^{кку}$, кВАр	0	0	0
$Q_{нкф}$, кВАр	100	320	0
$K_{зТф}$	0,74	0,8	0,67
$\Delta P_{хх}$, кВт	0,73	1,05	1,45
$\Delta P_{хх\Sigma}$, кВт	2,92	2,1	2,9
$\Delta P_{кз}$, кВт	2,65	3,7	5,5
$\Delta P_{м}$, кВт	5,8	4,72	4,91
$B_{еТ}$, т.грн / рік	100,34	77,15	91,95
K_T, т.грн	568	380	510
$З_T$, т.грн / рік	382,105	198,75	255,15
$З_{кку}$, т.грн / рік	20,8	55,31	0
$З_{\Sigma}$, т.грн / рік	302,91	254,06	255,16

На основі результатів техніко-економічного порівняння варіантів приймаємо до встановлення трансформаторну підстанцію з двома трансформаторами типу ТМ-250/10 та ККУ типу УКРМ 0,4-160/6-20 [4].

2.5. Компенсація реактивної потужності на вищих рівнях СЕП

Розрахунок потужності високовольтних батарей конденсаторів визначаємо згідно методики [2], порядок виконання якої наведено в додатку А.

Сумарне реактивне ЕН в години максимуму активного ЕН енергосистеми:

$$Q_{M1} = 0{,}75 \cdot 356{,}69 = 267{,}52 \text{ кВАр}.$$

Реактивна потужність, дозволена до використання в години максимуму активного ЕН енергосистеми:

$$Q_{e.max} = 70 \text{ кВАр}.$$

Розрахункова потужність ВБК з умови балансу реактивної потужності [2]:

$$Q_{ВКБ} = 0{,}75 \cdot 356{,}69 + 30 - 320 - 70 = -92{,}48 \text{ кВАр}.$$

Додаткове встановлення ККУ на шинах 0,4 кВ ТП не потрібне.

2.6. Визначення електричних навантажень на вищих рівнях СЕП

Для вибору перерізу кабелів, комутаційної апаратури мережі зовнішнього електропостачання, необхідно визначити електричні навантаження на вищих рівнях системи електропостачання, тобто на шинах високої напруги (ВН) ТП.

Розрахункове навантаження на шинах ВН ТП визначено з урахуванням навантаження на шинах НН ТП та втрат потужності в трансформаторах згідно методики [1, 2], порядок застосування якої наведено в додатку А.

Дійсний коефіцієнт завантаження трансформатора, з урахуванням фактичної потужності низьковольтних компенсуючих пристроїв, під'єднаних до шин 0,4 кВ трансформаторної підстанції:

$$K_{зТ} = \frac{\sqrt{397{,}8^2 + (356{,}69 - 320)^2}}{2 \cdot 250} = 0{,}8.$$

Втрати активної потужності в одному трансформаторі:

$$\Delta \boldsymbol{P}_{\text{Т}} = 0,8^2 \cdot 3,7 + 1,05 = 3,41 \text{ кВт}.$$

Втрати реактивної потужності:

$$\Delta \boldsymbol{Q_T} = 15 \text{ кВАр}.$$

Приєднана потужність (розрахункова потужність на шинах 10 кВ ТП):

$$\boldsymbol{S}_{p4} = \sqrt{\left(397,8 + 6,82\right)^2 + 70^2} = \sqrt{404,62^2 + 400^2} = 410,63 \text{ кВА}.$$

Перевіримо значення коефіцієнта потужності:

$$\cos\phi = \cos\left(\boldsymbol{arctg}\frac{70}{397,8}\right) = 0,98.$$

Отже, вимога енергосистеми забезпечується.

2.7. Розрахунок мережі зовнішнього електропостачання

2.7.1. Вибір джерела та напруги живлення

Джерелом електропостачання промислового підприємства є електричні мережі енергосистеми. На відстані 0,9 км від території підприємства розміщена районна підстанція 110/10 кВ. На даній підстанції є запас потужності та резервна комірка на шинах напруги 10 кВ. Як джерело живлення підприємства вибираємо РПС 110/10 кВ.

Рівень напруги живлення підприємства визначається на основі величини електричного навантаження, відстані до джерела живлення та економічної

доцільності передачі електроенергії. Для живлення промислового підприємства бажано в першу чергу використовувати напругу, на якій енергосистема має вільну потужність. З урахуванням розрахункової потужності підприємства, категорії надійності електроприймачів та умов приєднання до електричних мереж доцільним є живлення підприємства від мережі напругою 10 кВ з подальшим пониженням напруги на трансформаторній підстанції до рівня 0,4 кВ для живлення внутрішніх споживачів.

Живлення заводу здійснюється кабельними лініями від шин 10 кВ РПС.

2.7.2. Вибір перерізу КЛ до підприємства

Вибір перерізу КЛ зовнішнього електропостачання підприємства виконано за технічними умовами [1,2,5] з використанням методики, наведеної в додатку А.

Розрахунковий струм:

$$\boldsymbol{I_p} = \frac{410,63}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot 10} = 11,29 \text{ А А.}$$

Попередньо до встановлення приймаємо кабель з алюмінієвими струмопровідними жилами, з просоченою паперовою ізоляцією, в алюмінієвій оболонці, броньовані сталевими стрічками марки ААБл-10 перерізом (3х35) мм^2, для якого табличне значення допустимого струму становить 115 А.

При нормованій температурі жил $\boldsymbol{t} = 60\,^0$С та умовній температурі середовища $\boldsymbol{t} = 15\,^0$С для кабелів 10 кВ, прокладених в землі приймаємо:

$$\boldsymbol{k}_1 = 1,12;\ \boldsymbol{k}_2 = 0,92.$$

Перевіримо вибраний переріз за нагрівом струмом нормального режиму:

$$11,29 \text{ А} < 1,06 \cdot 0,92 \cdot 115 = 109,71 \text{ А.}$$

Перевіримо вибраний переріз на нагрів струмом післяаварійного режиму:

$$2 \cdot 11{,}29 = 22{,}58 \text{ А} < 1{,}06 \cdot 1{,}35 \cdot 115 = 164{,}56 \text{ А}.$$

Вибраний переріз задовольняє умови перевірки.

Втрати напруги в лінії :

$$\Delta \boldsymbol{U} = \frac{404{,}62 \cdot 0{,}89 \cdot 0{,}9 + 70 \cdot 0{,}085 \cdot 0{,}9}{10 \cdot 10^2} = 0{,}3\% < \Delta \boldsymbol{U}_{доп} = 5\% .$$

Втрати напруги не перевищують допустимого значення.

Для вибору оптимального перерізу КЛ-10 кВ проведено техніко-економічне порівняння варіантів. До розгляду прийнято кілька перерізів кабелів (табл. 2.8).

Таблиця 2.8 - Стандартні перерізи ЛЕП

Марка і переріз	$\boldsymbol{F}$, мм^2	$\boldsymbol{I}_{доп}$, А	$\boldsymbol{I}_{т.д.}$, А
ААБл-10 (3х35) мм^2	35	115	109,71
ААБл-10 (3х50) мм^2	50	140	133,56
ААБл-10 (3х70) мм^2	70	165	152,64

Критерієм техніко-економічної доцільності відповідного перерізу кабельної лінії є мінімум приведених затрат. Результати розрахунків для порівняння різних перерізів зведено в таблицю 2.9.

Таблиця 2.9 - Вибір економічно доцільного перерізу ЛЕП

$\boldsymbol{F_T}$, мм^2	$\boldsymbol{I}_{т.д.}$ А	$\boldsymbol{K}_з$	$\boldsymbol{r}_0$, Ом/км	$\Delta \boldsymbol{P}_д$, кВт	$\boldsymbol{B}_е$, т.грн/рік	$\boldsymbol{K}$, т.грн/рік	$\boldsymbol{З}_\Sigma$, т.грн/рік
35	109,71	0,10	0,89	0,306	2,764	792,504	177,114
50	133,56	0,08	0,62	0,213	1,925	847,773	188,435
70	152,64	0,07	0,443	0,152	1,376	999,513	221,268

Приймаємо до встановлення кабель типу ААБл-10 перерізом (3х35) мм^2, переріз якого відповідає умовам нагріву струмами нормального та післяаварійного режимів.

2.8. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі 10 кВ

Розрахунок струмів короткого замикання в мережі 10 кВ дозволяє визначити найбільш важкі аварійні режими роботи системи електропостачання, забезпечити правильний вибір електрообладнання, тобто, є основою для подальшого вибору апаратури захисту та забезпечення електробезпеки підприємства. Найбільші струми виникають при трифазному короткому замиканні, тому саме цей режим є визначальним при виборі комутаційної апаратури. Отримані значення струмів трифазного КЗ використовуються для вибору та перевірки електрообладнання за термічною і динамічною стійкістю, налаштування пристроїв релейного захисту та автоматики, а також забезпечення надійної і безпечної роботи електричної мережі. Розрахунок виконують відповідно до чинних нормативних документів та методик розрахунку струмів короткого замикання для трифазних мереж змінного струму. Розрахунок струмів короткого замикання виконуємо згідно методики [6], порядок застосування якої наведено в додатку А.

Розрахункова схема зображена на рисунку 2.1, а схема заміщення зображена на рисунку 2.2.

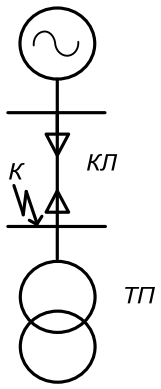

Рисунок 2.1 – Розрахункова схема короткозамкненого кола

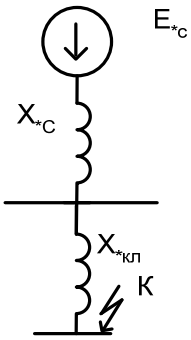

Рисунок 2.2 – Схема заміщення короткозамкненого кола

Розрахунок струму трифазного короткого замикання виконується за еквівалентною схемою заміщення, в якій усі елементи мережі замінюються їх опорами, зведеними до базових умов. Зведення параметрів елементів короткозамкненого кола виконуємо у відносних одиницях з використанням наближених коефіцієнтів трансформації трансформаторів [6].

Потужність короткого замикання (КЗ) на шинах джерела живлення $S''_{кз}$ = 85 МВА. За базисну напругу приймаємо напругу рівня короткого замикання - $U_б = U_{сер} = 10,5$ кВ; за базову потужність $S_б = 100$ МВА.

Параметри системи:

$$\overset{0}{E}_{C*б} = 1$$

$$\overset{0}{x}_{c*б} = \frac{100}{85} = 1,176$$

Опір лінії:

$$\overset{0}{x}_{л*б} = 0,095 \cdot 0,9 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,078.$$

Результуючий опір короткозамкненого кола:

$$X_{\sum кз*} = \overset{0}{x}_{c*б} + \overset{0}{x}_{л*б} = 1{,}176 + 0{,}078 = 1{,}254.$$

Базисний струм:

$$I_б = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10{,}5} = 5{,}5 \text{ кА}.$$

Струм короткого замикання на шинах 10 кВ трансформаторної підстанції:

$$I_{кз}^{(3)} = \frac{1}{1{,}254} \cdot 5{,}5 = 3{,}7 \text{ кА}.$$

Ударний струм:

$$i_у = 1{,}37 \cdot \sqrt{2} \cdot 3{,}7 = 7{,}16 \text{ кА}.$$

2.9. Перевірка перерізу КЛ-10 на термічну стійкість струму КЗ

Перевірка кабельної лінії напругою 10 кВ на термічну стійкість виконується з метою визначення здатності провідників витримувати теплову дію струмів короткого замикання без пошкодження ізоляції та втрати експлуатаційних характеристик. Дана перевірка є обов’язковим етапом проєктування систем електропостачання промислових підприємств.

Мінімальний переріз, термічно стійкий до струму КЗ визначаємо згідно методики, наведеної в додатку А.

Приведений час дії струму КЗ:

$$t_{пр} = 0{,}2 + 0{,}05 = 0{,}25 \text{ с}.$$

Отже, мінімальний переріз КЛ, стійкий до дії струму КЗ:

$$\boldsymbol{F}_{\min} = \frac{3700}{90}\sqrt{0,25} = 20,53 \text{ мм}^2 \ .$$

Вибраний переріз КЛ-10 задовольняє умови термічної стійкості.

Приймаємо до встановлення КЛ типу ААБл-10 перерізом (3х35) мм^2.

2.10. Вибір обладнання на напругу 10 кВ

2.10.1. Вибір роз'єднувачів

Роз’єднувачі вибирають за конструктивним виконанням, видом встановлення, номінальному струму та напрузі, динамічній та термічній стійкості струмам КЗ.

Приймаємо роз'єднувачі типу РВЗ – 10/400 У3, для якого згідно [7]:

$\boldsymbol{U}_{ном} = 10$ кВ; $\boldsymbol{I}_{ном} = 400$ А; $\boldsymbol{i}_{дин} = 41$ кА; $\boldsymbol{I}_{терм} = 16$ кА; $\boldsymbol{t}_{терм} = 4$ с.

Виконуємо перевірку умов вибору:

- по напрузі:

10 кВ = 10 кВ;

- по струму:

400 А > 22,58 А;

- забезпечення динамічної стійкості роз'єднувача струмам КЗ:

41 кА > 7,16 кА;

- забезпечення термічної стійкості роз'єднувача струмам КЗ:

$$16^2 \cdot 4 = 1024 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > 3{,}7^2 \cdot 0{,}25 = 3{,}41 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Вибрані роз'єднувачі задовольняють умови перевірки. Приймаємо до встановлення роз'єднувач РВЗ - 10/400 У3 (ТОВ «УкрЕлектро»).

2.10.2. Вибір вимикачів навантаження для трансформаторів

З боку високої напруги трансформатора в ТП передбачаємо встановлення камер одностороннього обслуговування типу КСО-393-04061 [8] з вимикачем навантаження типу ВНА в комплекті з запобіжником типу ПКТ.

Вимикачі вибираємо за номінальним значенням напруги і струму.

Попередньо приймаємо до встановлення на трансформаторній підстанції вимикачі навантаження типу ВНА-10/630-20-зп-У3 (ТОВ «УкрЕлектро»), для яких [7]: $\boldsymbol{U}_{ном} = 10$ кВ; $\boldsymbol{I}_{ном} = 630$ А; $\boldsymbol{i}_{дин} = 50$ кА; $\boldsymbol{I}_{терм} = 20$ кА; $\boldsymbol{t}_{терм} = 1$ с.

Попередньо приймаємо до встановлення запобіжники типу ПКТ101-10-31,5-12,5 У3, для яких: номінальний струм $\boldsymbol{I}_{ном.а} = 31{,}5$ А; номінальний струм вимкнення запобіжника: $\boldsymbol{I}_{ном.вимкн.а} = 12{,}5$ кА.

Виконуємо перевірку умов вибору:

- по напрузі:

$$10 \text{ кВ} = 10 \text{ кВ};$$

- по струму вимикача навантаження:

$$630 \text{ А} > 22{,}58 \text{ А};$$

- по струму запобіжника:

$$31{,}5 \text{ А} > 22{,}58 \text{ А};$$

- забезпечення динамічної стійкості:

$$50 \text{ кА} > 7{,}16 \text{ кА};$$

- забезпечення термічної стійкості:

$$20^2 \cdot 1 = 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > 3{,}7^2 \cdot 0{,}25 = 3{,}41 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

- по струму вимкнення запобіжника :

$$12{,}5 \text{ кА} > 3{,}7 \text{ кА}.$$

Вибраний вимикач задовольняє всі умови. Вимикач навантаження типу ВНА-10/630-20-зп-У3 з запобіжником типу ПКТ101-10-31,5-12,5 У3 приймаємо до встановлення. Зі сторони КЛ встановлюємо вимикачі навантаження ВНА-10/630-20-з-У3.

2.10.3. Вибір контрольно-вимірювальних приладів

Для забезпечення постійного контролю за роботою окремих елементів системи електропостачання та обліку спожитої електричної енергії необхідно здійснювати вимірювання величини струму, напруги, потужності, електроенергії. З цією метою застосовують контрольно-вимірювальні прилади.

Для контролю електроспоживання на кожній секції шин РП джерела живлення передбачено встановлення багатотарифних багатофункціональних лічильників активної та реактивної енергії Енергія-9 СТК3-0,5Q2T1M.UIK1t ТОВ «Телекарт-Прилад» [9], який призначений для обліку вимірювання активної та реактивної електричної енергії у прямому напрямку або зворотному напрямку за диференційованими у часі тарифами в трифазних мережах змінного струму промислової частоти. Для неперервного контролю величини струму на шинах РП джерела живлення встановлюємо амперметри типу ЦА0303-2 [10]. На кожній

секції шин для контролю за якістю електричної енергії встановлено вольтметри класу точності 0,5 типу ЦВ0303-2 [10].

2.10.4. Вибір трансформаторів струму на шинах джерела живлення

Трансформатори струму (ТС) вибирають за номінальним струмом і напругою, за напругою вторинного кола і перевіряємо за динамічною та термічною стійкістю до струмів короткого замикання.

Попередньо в комірці джерела живлення приймаємо трансформатор струму типу ТПЛ-10 У3 ТОВ ВКФ "Електросервіс", для якого згідно [11]: $U_{ном} = 10$ кВ; $I_{1ном} = 50$ А; $I_{2ном} = 5$ А; $Z_{2ном} = 0,4$ Ом; $S_{2ном} = 10$ ВА; $i_{дин} = 51$ кА; $I_{терм} = 2,5$ кА; $t_{терм} = 1$ с.

У вторинному колі ТС встановлений амперметр, лічильник активної та реактивної енергії. Навантаження вторинного кола ТС розрахуємо в таблиці 2.10.

Перевірка ТС на дотримання технічних умов зведена в таблицю 2.11.

Таблиця 2.10 – Навантаження вторинного кола трансформатора струму

Прилад	Тип	Навантаження фази, ВА		
Амперметр	ЦА0303-2	0,5	0,5	0,5
Лічильник активної та реактивної енергії	Енергія-9 СТК3-0,5Q2T1M.UIK1t	0,05	0,05	0,05
Разом		0,55	0,55	0,55

Таблиця 2.11 – Вибір трансформаторів струму

Умова вибору	Перевірка виконання умови вибору
$U_н \geq U_{уст}$	10 кВ = 10 кВ
$I_{1ном} > I_{р.\ max}$	50 А > 22,58 А
$i_{дин} > i_{уд}$	51 кА > 8,16 кА
$I^2_{терм} \cdot t_{нтерм} > B_к$	$2,5^2 \cdot 1 = 6,25$ кА^2·с > $3,7^2 \cdot 0,25 = 3,41$ кА^2·с
$S_{2н} > S_2$	10 ВА > 0,55 ВА

Опір приладів приєднаних до трансформатора струму:

$$r_{прил} = \frac{0,55}{5^2} = 0,022 \text{ Ом}.$$

Для приєднання приладів до ТС використано кабель АКВВГ з жилами перерізом 4 мм^2. Опір проводу:

$$r_{пр} = \frac{0,0283 \cdot 9,8}{4} = 0,06 \text{ Ом}.$$

Уточнене значення номінального навантаження вторинної обмотки ТС:

$$Z_2 = 0,022 + 0,05 + 0,06 = 0,132 \text{ Ом}.$$

Перевірка вибраного ТС на відповідність необхідному класу точності:

0,132 Ом < 0,4 Ом.

Вибраний трансформатор струму задовольняє всі умови.

2.11. Проєктування внутрішньозаводського електропостачання

2.11.1. Вибір схеми низьковольтної мережі

Розподіл електричної енергії до споживачів груп цехів, що живляться від ТП, здійснюється через ввідні розподільчі пристрої 0,4 кВ цехів.

Живлення ввідних розподільчих пристроїв здійснюється кабельними лініями, прокладеними в землі.

Для розподілу електричної енергії від ТП до ввідних розподільчих пунктів прийнято радіальну схему.

2.11.2. Вибір ввідних розподільчих пристроїв

Вибір ввідних розподільчих пристроїв виконано за розрахунковим струмом цеху згідно методики , наведеної в додатку А, з урахуванням рекомендацій [12].

Прийнято до встановлення ввідні розподільчі пристрої серії ПР-11 [13] з автоматичними вимикачами серії ВА2004. Результати розрахунку в таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – Вибір ввідних розподільчих пристроїв

Найменування об'єкту	S_p, кВА	К-сть	$I_{р.п.}$, А	$I_{р.п.max}$, А	Тип розподільчого пристрою	Позна-чення
Цех №1	91,76	2	66,22	132,44	ПР11-3086А-21У3 з ввідним вимикачем ВА2004 $I_{ном}$=250 А і лінійними вимикачами ВА2004 $I_{ном}$=60 А N=12	ПР1, ПР2
Цех №2	94,67	2	68,32	136,65	ПР11-3086А-21У3 з ввідним вимикачем ВА2004 $I_{ном}$=250 А і лінійними вимикачами ВА2004 $I_{ном}$=60 А N=12	ПР3, ПР4
Цех корпусних меблів	71,34	2	51,48	102,96	ПР11-3086А-21У3 з ввідним вимикачем ВА2004 $I_{ном}$=250 А і лінійними вимикачами ВА2004 $I_{ном}$=60 А N=12	ПР5, ПР6
Ремонтний цех	43,71	2	31,54	63,09	ПР11-3086А-21У3 з ввідним вимикачем ВА2004 $I_{ном}$=100 А і лінійними вимикачами ВА2004 $I_{ном}$=60 А N=12	ПР7, ПР8
Склади	66,16	2	47,75	95,49	ПР11-3086А-21У3 з ввідним вимикачем ВА2004 $I_{ном}$=250 А і лінійними вимикачами ВА2004 $I_{ном}$=60 А N=12	ПР9, ПР10
Адміністративна будівля	26,93	1	38,87	38,87	ПР11-3086А-21У3 з ввідним вимикачем ВА2004 $I_{ном}$=100 А і лінійними вимикачами ВА2004 $I_{ном}$=60 А N=12	ПР11
Цех товарів широкого вжитку	42,76	2	30,86	61,71	ПР11-3054-21У3 з ввідним вимикачем ВА2004 $I_{ном}$=100 А і лінійними вимикачами ВА2004 $I_{ном}$=60 А N=4	ПР12,ПР13
Цех м'яких меблів	90,61	2	65,39	130,79	ПР11-3086А-21У3 з ввідним вимикачем ВА2004 $I_{ном}$=250 А і лінійними вимикачами ВА2004 $I_{ном}$=60 А N=12	ПР14,ПР15

2.11.3. Вибір перерізу КЛ низьковольтної мережі електропостачання

Переріз кабельних ліній, що живлять ввідні розподільчі пункти, вибираємо за розрахунковим струмом і перевіряємо за нагрівом струмом післяаварійного режиму та втратою напруги згідно методики, наведеної в додатку А.

Для живлення розподільчих пунктів прийнято броньований силовий кабель типу ВБбШв-1 з мідними жилами, ізоляцією і зовнішньою оболонкою з полівінілхлоридного пластикату, поясною ізоляцією у вигляді полімерної стрічки, бронею у вигляді сталевих оцинкованих стрічок. Кабель призначений для передачі і розподілу електричної енергії в стаціонарних установках на номінальну змінну напругу до 1 кВ частоти 50 Гц. Результати розрахунку зведемо в таблицю 2.13.

Таблиця 2.13 – Вибір перерізів кабельних ліній напругою 0,4 кВ

Лінія	$S_р$, кВА	$I_р$, А	$F_Т$, мм^2	$I_{т.д.}$ А	$I_{п/ав}$, А	$I_{д.п/ав}$, А	l, км	r_0, $\frac{Ом}{км}$	x_0, $\frac{Ом}{км}$	ΔU, %
ТП-ПР1(ПР2)	91,76	66,22	25	90,63	132,44	135,95	0,094	0,74	0,0662	3,00
ТП-ПР3(ПР4)	94,67	68,32	35	109,71	136,65	164,57	0,095	0,53	0,0637	2,21
ТП-ПР5(ПР6)	71,34	51,48	16	71,55	102,96	107,33	0,083	1,16	0,0675	3,48
ТП-ПР7(ПР8)	43,71	31,54	16	71,55	63,09	107,33	0,162	1,16	0,0675	3,77
ТП-ПР9(ПР10)	66,16	47,75	16	71,55	95,49	107,33	0,085	1,16	0,0675	3,50
ТП-ПР11	26,93	38,87	16	71,55	38,87	107,33	0,156	1,16	0,0675	2,69
ТП-ПР12(ПР13)	42,76	30,86	16	71,55	61,71	107,33	0,105	1,16	0,0675	2,49
ТП-ПР14(ПР15)	90,61	65,39	35	109,71	130,79	164,57	0,191	0,53	0,0637	4,91

2.12. Розрахунок струмів КЗ в мережі до 1 кВ

Розрахунок струмів короткого замикання на шинах 0,4 кВ ТП, на шинах ввідних розподільчих пристрів, що живляться від ТП, виконано згідно методики [2, 6], порядок застосування якої наведено в додатку А.

Розрахункова схема короткозамкненого кола мережі живлення представлена на рис. 2.3, а її схема заміщення на рис 2.4.

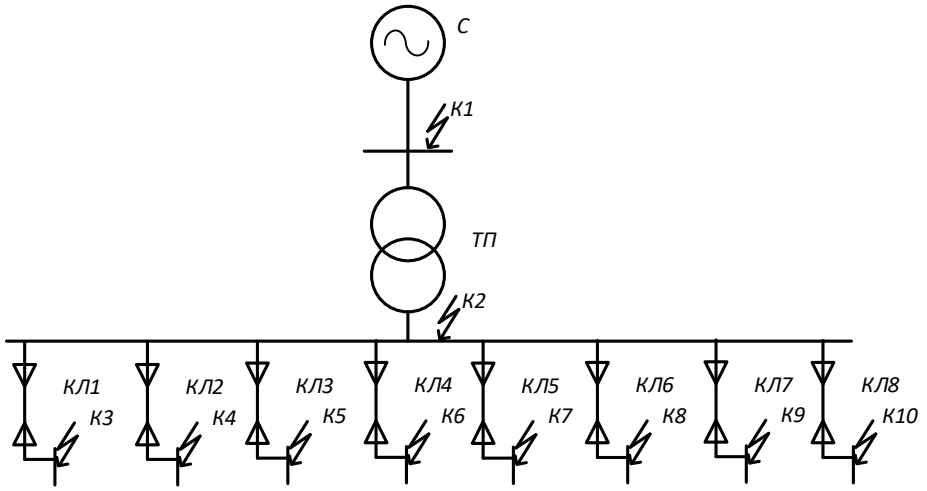

Рисунок 2.3 – Розрахункова схема короткозамкненого кола

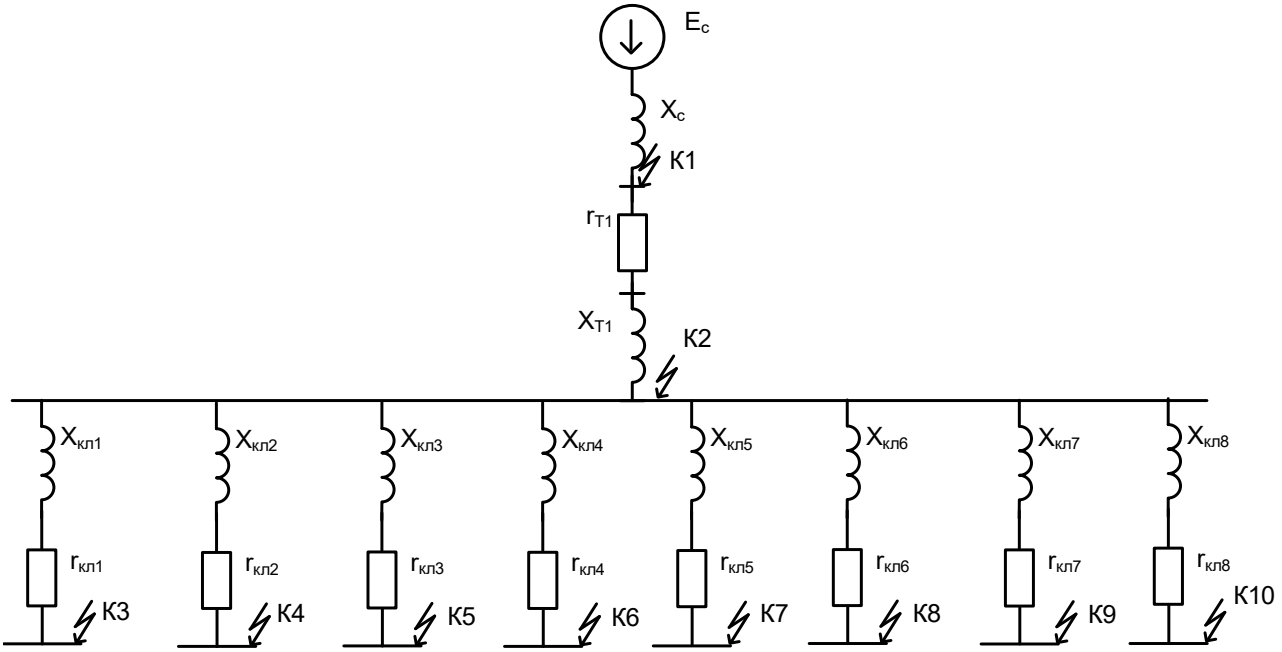

Рисунок 2.4 – Схема заміщення короткозамкненого кола

Для розрахунку струму КЗ в заданих точках параметри елементів короткозамкненого кола зведено до базових умов. За базову напругу прийнято середню напругу рівня короткого замикання: $\boldsymbol{U_{осн}}$ = 0,4 кВ.

Опір системи:

$$\boldsymbol{x_c} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 3,7} = 1,64 \text{ Ом}$$

$$\boldsymbol{r_c} = 0,89 \cdot 0,9 = 0,801 \text{ Ом}$$

Опір системи зведений до базисних умов:

$$\overset{0}{x}_c = 1,64 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5}\right)^2 = 2,38 \text{ мОм}.$$

$$\overset{0}{r}_c = 0,801 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5}\right)^2 = 1,162 \text{ мОм}.$$

Активний та реактивний опір трансформатора, зведений до базових умов:

$$\overset{0}{x}_{тр} = \sqrt{\left(\frac{4,5}{100}\right)^2 - \left(\frac{0,0037}{0,25}\right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{0,25} = 27,198 \text{ мОм};$$

$$\overset{0}{r}_{тр} = \frac{0,0037}{0,25} \cdot \frac{0,4^2}{0,25} = 9,472 \text{ мОм}.$$

Результати розрахунку активного та реактивного опорів ліній, зведених до базових умов, наведено в таблиці 2.14.

Таблиця 2.14 - Опори ліній, зведені до базових умов

Лінія	l, км	r_0, Ом/км	x_0, Ом/км	$\overset{0}{r}_л$, мОм	$\overset{0}{x}_л$, мОм
ТП-ПР1(ПР2)	0,094	0,74	0,0662	69,560	6,223
ТП-ПР3(ПР4)	0,095	0,53	0,0637	41,540	4,188
ТП-ПР5(ПР6)	0,083	1,16	0,0675	96,280	5,603
ТП-ПР7(ПР8)	0,162	1,16	0,0675	187,920	10,935
ТП-ПР9(ПР10)	0,085	1,16	0,0675	98,600	5,738
ТП-ПР11	0,156	1,16	0,0675	180,960	10,530
ТП-ПР12(ПР13)	0,105	1,16	0,0675	121,800	7,088
ТП-ПР14(ПР15)	0,191	0,53	0,0637	101,230	12,167

Результуючий опір короткозамкненого кола до точки короткого замикання К2 (при цьому враховуємо $r_{дод} = 15$ мОм):

$$x_{рез} = x_c + x_{тр} = 2,38 + 27,198 = 29,579 \text{ мОм};$$

$$r_{рез} = r_c + r_{тр} + r_{дод} = 1,162 + 9,472 + 15 = 25,634 \text{ мОм}.$$

$$Z_{рез} = \sqrt{29,579^2 + 25,634^2} = 39,141 \text{ мОм}.$$

Струм короткого замикання:

$$I''_{кз} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 39,141} = 5,9 \text{ кА}.$$

Враховуючи, що $T = \frac{x}{r} = \frac{29,579}{25,634} = 1,15$; приймаємо: k_y=1,1.

Ударний струм :

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,1 \cdot 5,9 = 9,18 \text{ кА}.$$

Розрахунок струму в інших точках виконуємо аналогічно.

Результати розрахунку зведено в таблицю 2.15.

Таблиця 2.15 - Розрахунок струмів КЗ

Точка КЗ	$x_{рез}$, мОм	$r_{дод}$, мОм	$r_{рез}$, мОм	$Z_{рез}$, мОм	$I''_{кз}$, кА	k_y	i_y, кА
К2	29,579	15	25,634	39,141	5,9	1,1	9,18
К3	35,80	20	100,19	106,40	2,17	1	3,07
К4	33,77	20	72,17	79,68	2,90	1	4,10
К5	35,18	20	126,91	131,70	1,75	1	2,48
К6	40,51	20	218,55	222,28	1,04	1	1,47
К7	35,32	20	129,23	133,97	1,72	1	2,44
К8	40,11	20	211,59	215,36	1,07	1	1,52
К9	36,67	20	152,43	156,78	1,47	1	2,08
К10	41,75	20	131,86	138,31	1,67	1	2,36

2.13. Вибір обладнання на напругу 0,4 кВ

2.13.1. Вибір комірок розподільчого пристрою 0,4 кВ ТП

Приймаємо до встановлення панелі розподільчих щитів типу ЩО-98 ТОВ "ТехноЕлектро" [14] з автоматичними вимикачами ТОВ «Промфактор» [15]

Результати вибору зводимо в таблицю 2.16.

Таблиця 2.16 – Вибір комірок розподільчого пристрою 0,4 кВ ТП

Назва панелі	$I_р$, А	Тип панелі	Комутаційний апарат	$I_{ном}$, А	Кількість панелей
Ввідна	576,61	ЩО-90-2119	PE 19-41 FMC8A	1000 1000	2
Секційна	288,3	ЩО-90-2303	2xPE 19-39 FMC8A	630 630	1
Лінійна	136,65	ЩО-90-2424	2xPE 19-39 6xFMC3/3U	630 100÷250	4

2.13.2. Вибір автоматичних вимикачів

Результати вибору автоматичних вимикачів, встановлених в РУ-0,4 кВ ТП зведено в таблицю 2.17.

Таблиця 2.17 – Вибір автоматичних вимикачів РУ-0,4 кВ ТП

Місце встановлення	$I_{р.утяж}$, А	$1,2 \cdot I_{р.утяж}$, А	$I_п$, кА	Тип вимикача	$I_{ном}$, А	$I_{відкл}$, кА
Ввід до ТП1	576,61	720,76	5,9	FMC8A	1000	50
ТП-ПР1(ПР2)	132,44	165,55	2,17	FMC8A	630	50
ТП-ПР3(ПР4)	136,65	170,81	2,90	FMC3/3U	250	25
ТП-ПР5(ПР6)	102,96	128,70	1,75	FMC3/3U	160	25
ТП-ПР7(ПР8)	63,09	78,86	1,04	FMC3/3U	100	25
ТП-ПР9(ПР10)	95,49	119,37	1,72	FMC3/3U	125	25
ТП-ПР11	38,87	48,59	1,07	FMC3/3U	100	25
ТП-ПР12(ПР13)	61,71	77,14	1,47	FMC3/3U	100	25
ТП-ПР14(ПР15)	130,79	163,48	1,67	FMC3/3U	250	25

Результати вибору вимикачів, встановлених в ввідних цехових розподільчих пристроях, зведено в таблицю 2.18.

Таблиця 2.18 – Вибір автоматичних вимикачів розподільчих пунктів

Місце встановлення	$I_{р.утяж}$, А	$1,2 \cdot I_{р.утяж}$, А	$I_п$, кА	Тип вимикача	$I_{ном}$, А	$I_{ном.розч}$, А	$I_{відкл}$, кА
ПР1, ПР2	132,44	165,55	2,17	ВА2004/250	250	175	35
ПР3, ПР4	136,65	170,81	2,90	ВА2004/250	250	200	35
ПР5, ПР6	102,96	128,70	1,75	ВА2004/250	250	150	35
ПР7, ПР8	63,09	78,86	1,04	ВА2004/100	100	100	35
ПР9, ПР10	95,49	119,37	1,72	ВА2004/250	250	150	35
ПР11	38,87	48,59	1,07	ВА2004/100	100	75	35
ПР12,ПР13	61,71	77,14	1,47	ВА2004/100	100	100	35
ПР14,ПР15	130,79	163,48	1,67	ВА2004/250	250	175	35

2.13.3. Вибір рубильників

Попередньо в панелях ТП прийнято до встановлення рубильник серії РЕ19. Перевірка попередньо вибраного рубильника на дотримання технічних умов зведена в таблицю 2.19.

Таблиця 2.19 – Вибір рубильників

Місце встановлення	Тип	$U_н \geq U_{уст}$	$I_{ном} \geq I_{р.утяж}$	$i_{дин} \geq i_у$
Ввідна	РЕ 19-41	10 кВ = 10 кВ	1000А > 576,61 А	100 кА > 9,18 кА
Секційна	РЕ 19-39	10 кВ = 10 кВ	630А > 288,36 А	32 кА > 9,18 кА
Лінійна	РЕ 19-39	10 кВ = 10 кВ	630А > > 136,65+132,44+102,96 = = 372,05 А	32 кА > 4,1 кА

2.13.4. Вибір трансформаторів струму

Для організації комерційного обліку електричної енергії на вводі в розподільчий пристрій 0,4 кВ трансформаторів і технічного обліку – на кожному фідері, що відходить від розподільчого пристрою 0,4 кВ ТП встановлюємо

трансформатори струму. У вторинному колі трансформатора струму встановлені амперметр типу ЦА0302-2 Уманського заводу вимірювальних приладів «Мегомметр» [10], лічильники активної та реактивної енергії виробництва ТОВ «Телекарт-Прилад» типу Енергія-9 СТК3-0,5Q2H4Mt [9] з прямим підключенням по напрузі і трансформаторним підключенням по струму до кіл навантаження, які призначені для вимірювання активної та реактивної енергії в прямому і зворотному напрямках, повної потужності, коефіцієнта потужності, середньоквадратичного значення напруги і сили струму.

Вибір ТС здійснюємо за номінальним струмом і напругою, за напругою вторинного кола і перевіряємо за динамічною та термічною стійкістю до струмів КЗ. Розрахунок навантаження вторинного кола ТС зведено в таблицю 2.20.

Таблиця 2.20 – Навантаження вторинного кола трансформатора струму

Прилад	Тип	Навантаження фази, ВА		
Амперметр	ЦА0302-2	0,5	0,5	0,5
Лічильник енергії	Енергія-9 СТК3-0,5Q2H4Mt	0,05	0,05	0,05
Всього		0,55	0,55	0,55

Попередньо приймаємо ТС ТОВ ВКФ «Електросервіс» [11]:

- на вводі в РП-0,4 кВ - ТС типу Т-066-1, для якого: $U_{ном} = 660$ В; $I_{1ном} = 800$ А; $I_{2ном} = 5$ А; $Z_{2ном} = 0,4$ Ом; $S_{2ном} = 10$ ВА; $i_{дин} = 40$ кА; $I_{терм} = 10$ кА; $t_{терм} = 1$ с;

- в комірках лінійних фідерів, що відходять від РП-0,4 - ТС типу Т-066, для якого: $U_{ном} = 660$ В; $I_{1ном} = 200$ А; $I_{2ном} = 5$ А; $Z_{2ном} = 0,4$ Ом; $S_{2ном} = 10$ ВА; $i_{дин} = 40$ кА; $I_{терм} = 10$ кА; $t_{терм} = 1$ с.

Перевірка попередньо вибраного трансформатора струму на дотримання технічних умов зведена в таблицю 2.21.

Таблиця 2.21 –Вибір трансформаторів струму

Розрахункові дані			Каталожні дані		
Параметр	для ТС в ввідній комірці	для ТС в комірці фідерів	Параметр	для ТС в ввідній комірці	для ТС в комірці фідерів
$U_{уст}$	0,4 кВ	0,4 кВ	$U_{ном}$	0,66 кВ	0,66 кВ
I_{max}	576,61 А	136,65 А	$I_{1ном}$	800 А	200А
			$I_{2ном}$	5А	5 А
$I_{п0}$	5,9 кА	2,9 кА			
$i_{уд}$	9,18 кА	4,1 кА	$i_{дин}$	40 кА	40 кА
$B_к$	8,7 кА^2·с	2,1 кА^2·с	$I^2_{терм} \cdot t_{нтерм}$	$10^2 \cdot 1 = 100$ кА^2· с	$10^2 \cdot 1 = 100$ кА^2·с
S_2	0,55 ВА	0,55 ВА	$S_{2ном}$	10 ВА	10 ВА

При виборі з’єднувальних проводів від трансформатора струму до приладів, враховуємо те, що індуктивний опір струмових кіл невеликий.

Опір приладів приєднаних до трансформатора струму:

$$r_{прил} = \frac{0,55}{5^2} = 0,022 \text{ Ом}.$$

За умовою міцності для алюмінієвих жил переріз проводу не повинен бути меншим 4 мм^2 . Тому для приєднання приладів до трансформаторів струму використано кабель АКВВГ з жилами перерізом 4 мм^2.

Опір проводу з врахуванням вибраного перерізу:

$$r_{пр} = \frac{0,0283 \cdot 20}{4} = 0,12 \text{ Ом}.$$

Навантаження вторинної обмотки ТС:

$$Z_2 = 0,022 + 0,05 + 0,12 = 0,192 \text{ Ом}.$$

Перевірка вибраного ТС на відповідність необхідному класу точності:

$$0{,}192 \text{ Ом} < 0{,}4 \text{ Ом}.$$

Вибраний трансформатор струму задовольняє всі умови.

2.14. Розрахунок цехового електропостачання

2.14.1. Вибір схеми цехової мережі

Споживачами електроенергії цеху товарів широкого вжитку є деревообробні верстати різного призначення, вентиляційні установки, які розраховані на змінний трифазний струм і напругу 400 В. Оточуюче середовище в цеху нормальне.

Живлення низьковольтних споживачів цеху товарів широкого вжитку виконуємо від двох розподільчих пристроїв ПР12, ПР13 типу ПР11-3054-21У3 з ввідним вимикачем ВА2004 ($I_{ном}$=100 А) і лінійними вимикачами ВА2004 ($I_{ном}$=60 А). Розподільчі пункти заживлено від шин 0,4 кВ трансформаторної підстанції за допомогою кабельних ліній типу ВБбШв-1 перерізом (4х16) мм^2.

Розподіл електроенергії до цехових споживачів здійснюється через цехові розподільчі пристрої за допомогою окремих ліній по радіальній схемі.

Для живлення електроприймачів цеху товарів широкого вжитку приймаємо до виконання радіальну схему.

2.14.2. Розрахунок цехової мережі живлення

Згідно таблиці 2.1 даного дипломного проєкту навантаження по кожній групі споживачів цеху товарів широкого вжитку складає:

P_{p1} = 13,45 кВт;	P_{p2} = 12,65 кВт;	P_{p3} = 14,8 кВт
Q_{p1} = 8,9 кВАр;	Q_{p2} = 7,33 кВАр;	Q_{p3} = 8,52 кВАр
S_{p1} = 16,13 кВА	S_{p2} = 14,62 кВА;	S_{p3} = 17,07 кВА.

Кількість електроприймачів груп: n_1 = 15 шт.; n_2 = 8 шт; n_3 = 8 шт.

Вибір цехових розподільчих пристроїв здійснюємо за розрахунковим струмом груп електроприймачів.

Результати розрахунку зводимо в таблицю 2.22.

Таблиця 2.22 – Вибір розподільчих пристроїв цеху

	Найменування об'єкту	P_p, кВт	Q_p, кВАр	S_p, кВА	К-сть	I_p, А	Тип розподільчого пристрою	Позначення
1	Слюсарно-механічне відділення	13,45	8,90	16,13	2	12,26	ПР11-3077-21У3 з лінійними вимикачами ВА2004 N=10	ЦПР1,ЦПР2
2	Деревообробне відділення	12,65	7,33	14,62	1	22,21	ПР11-3077-21У3 з лінійними вимикачами ВА2004 N=10	ЦПР3
3	Столярне відділення	14,80	8,52	17,07	1	25,94	ПР11-3077-21У3 з лінійними вимикачами ВА2004 N=10	ЦПР4
4	Освітлення	3,96	1,91	4,4	1	6,68	ЩО з лінійними вимикачами, N=12	ЩО

Живлення цехових розподільчих пристроїв здійснюємо кабелем типу ВВГ-1 з мідними жилами, ізоляцією та оболонкою з полівінілхлоридного пластикату. Вибір перерізів кабелів здійснюємо за розрахунковим струмом.

Результати вибору зводимо в таблицю 2.23.

Таблиця 2.23- Вибір перерізів кабелів

Найменування лінії	S_p, кВА	I_p, А	F, мм^2	$I_{доп}$, А
До ЦПР1,ЦПР2	16,13	24,51	4х4	35
До ЦПР3	14,62	22,21	4х4	35
До ЦПР4	17,07	25,94	4х4	35
До ЩО	4,4	6,68	4х2,5	25

Живлення електроприймачів виконуємо кабелем типу ВВГ-1, прокладеним в підлозі в металорукавах. Вибір здійснюємо перерізу проводу за розрахунковим струмом електроприймачів.

Результати вибору січень зводимо в таблицю 2.24.

Таблиця 2.24 - Вибір січень проводів

Назва споживача	$P_{ном}$, кВт	$\cos\varphi$	$I_р$, А	F, мм^2	$I_{доп}$, А
Верстат шліфувальний	3,5	0,6	8,42	4х2,5	25
Верстат свердлильний	2,2	0,6	5,29	4х2,5	25
Верстат розточувальний	3,2	0,6	7,70	4х2,5	25
Верстат фрезерний	5,5	0,6	13,23	4х2,5	25
Верстат гвинторізний	1,5	0,6	3,61	4х2,5	25
Верстат токарний	5,6	0,6	13,47	4х2,5	25
Верстат точильний двосторонній	0,75	0,6	1,80	4х2,5	25
Верстат вертикально-свердлильний	1,5	0,6	3,61	4х2,5	25
Вентиляційна установка	1,5	0,8	2,71	4х2,5	25
Калориферна установка	1,6	0,75	3,08	4х2,5	25
Верстат деревообробний	6,5	0,6	15,64	4х2,5	25
Верстат циркулярний	2,5	0,6	6,01	4х2,5	25
Верстат фугувальний	3,5	0,6	8,42	4х2,5	25
Рейсмусовий верстат	5	0,6	12,03	4х2,5	25
Верстат свердлильний	4,5	0,6	10,83	4х2,5	25
Верстат шліфувальний	3,5	0,6	8,42	4х2,5	25
Універсальний круглошліфувальний верстат	7,6	0,6	18,28	4х2,5	25

Комутаційну апаратуру, розміщену в розподільчих пристроях вибираємо за розрахунковим струмом та перевіряємо на вимикаючу здатність.

Так як довжини ліній є незначними, то для перевірки комутаційної апаратури на вимикаючу здатність за усталене значення струму КЗ приймемо струм КЗ на шинах ввідного розподільчого пристрою $I_{кз}$ = 1,47 кА.

Результати розрахунку зводимо в таблицю 2.20.

Таблиця 2.20 – Вибір комутаційної апаратури цехових РП

Місце встановлення	$I_р$, А	$I_{утяж}$, А	Тип вимикача	$I_{ном}$, А	$I_{розч.ном}$, А	$I_{відкл}$
ПР12 (ПР13)-ЦПР1(ЦПР2)	24,51	30,63	ВА2004/50	50	40	18
ПР12-ЦПР3	22,21	27,76	ВА2004/50	50	40	18
ПР13-ЦПР4	25,94	32,43	ВА2004/50	50	40	18
ПР12-ЩО	6,68	8,35	ВА2004/30	30	20	18
ЦПР1 - Верстат шліфувальний	8,42	10,52	ВА2004/30	30	20	18
ЦПР1(ЦПР2) - Верстат свердлильний	5,29	6,62	ВА2004/30	30	20	18
ЦПР2- Верстат розточувальний	7,70	9,62	ВА2004/30	30	20	18
ЦПР1 - Верстат фрезерний	13,23	16,54	ВА2004/30	30	20	18
ЦПР2 - Верстат гвинторізний	3,61	4,51	ВА2004/30	30	20	18
ЦПР1(ЦПР2) - Верстат токарний	13,47	16,84	ВА2004/30	30	20	18
ЦПР1(ЦПР2) - Верстат точильний двосторонній	1,80	2,26	ВА2004/30	30	20	18
ЦПР1(ЦПР2) - Верстат вертикально-свердлильний	3,61	4,51	ВА2004/30	30	20	18
ЦПР1(ЦПР2) - Вентиляційна установка	2,71	3,38	ВА2004/30	30	20	18
ЦПР1 - Калориферна установка	3,08	3,85	ВА2004/30	30	20	18
ЦПР3 - Верстат деревообробний	15,64	19,55	ВА2004/30	30	30	18
ЦПР3 - Верстат циркулярний	6,01	7,52	ВА2004/30	30	20	18
ЦПР3 - Верстат фугувальний	8,42	10,52	ВА2004/30	30	20	18
ЦПР3 - Рейсмусовий верстат	12,03	15,04	ВА2004/30	30	20	18
ЦПР3 - Вентиляційна установка	2,71	3,38	ВА2004/30	30	20	18
ЦПР4 - Верстат свердлильний	10,83	13,53	ВА2004/30	30	20	18
ЦПР4 - Верстат шліфувальний	8,42	10,52	ВА2004/30	30	20	18
ЦПР4 - Універсальний круглошліфувальний верстат	18,28	22,85	ВА2004/30	30	30	18
ЦПР4 - Вентиляційна установка	2,71	3,38	ВА2004/30	30	20	18

РОЗДІЛ 3
ПРОЄКТУВАННЯ ОСВІТЛЮВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ЦЕХУ

3.1. Характеристика приміщення цеху як об’єкту освітлення

Цех товарів широкого вжитку меблевої фабрики є виробничим приміщенням із постійним перебуванням персоналу. Виробничий цех характеризується значною площею та висотою приміщення; наявністю технологічного обладнання (верстати, автоматичні лінії, складальні столи); змінним розташуванням робочих місць; поєднання зон із різною точністю зорових робіт. За умовами середовища приміщення належить до категорії сухих приміщень з незначною запиленістю (за умови ефективної аспірації), що впливає на вибір ступеня захисту світильників.

В цеху виконуються операції з механічної обробки деревини та плитних матеріалів, складання виробів, оздобленням поверхонь, контролем якості готової продукції та її пакування. Характер виробничих процесів пов’язаний із виконанням точних зорових робіт, контролем якості поверхонь, кольору та геометричних параметрів продукції. Зорові роботи у цеху належать до середньої точності, що потребує забезпечення достатнього рівня освітленості та рівномірності світлового потоку.

3.2. Вимоги до освітлювальної установки цеху

Характер виробничих процесів зумовлює підвищені вимоги до якості освітлення, оскільки точність виконання операцій та безпека праці безпосередньо залежать від умов зорової роботи. Освітлювальна установка цеху повинна забезпечувати нормативний рівень освітленості, рівномірність та якість світлового середовища з урахуванням специфіки виробничих процесів.

Правильно спроєктована система освітлення сприяє підвищенню продуктивності праці, зниженню травматизму, покращенню якості продукції та забезпеченню енергоефективної роботи підприємства.

Проєктування освітлення виконується відповідно до чинних будівельних норм та правил.

Освітленість робочих поверхонь повинна відповідати встановленим нормативним значенням залежно від класу зорових робіт. Освітлення повинно забезпечувати нормативні значення середньої освітленості на робочих поверхнях з урахуванням коефіцієнта запасу. Недостатня рівномірність освітлення може призвести до швидкої втомлюваності працівників і зниження продуктивності праці. Коефіцієнт нерівномірності освітлення, який визначається як відношення мінімальної освітленості до середньої, має відповідати нормативним вимогам, що забезпечує комфортні умови роботи та зменшує втому працівників.

Світильники повинні мати конструкцію, яка мінімізує пряму та відбиту сліпучу дію. Конструкція світильників має передбачати розсіювачі або відбивачі для зменшення прямих і відбитих блисків. Світильники повинні забезпечувати допустимий рівень показника засліпленості (UGR), особливо в зонах точних робіт. Показник дискомфорту не повинен перевищувати допустимих значень.

Освітлювальна установка повинна забезпечувати коефіцієнт пульсації світлового потоку в допустимих межах; достатній індекс передачі кольору (Ra не менше 80); стабільну колірну температуру (зазвичай 4000–5000 К для виробничих приміщень). Це забезпечує комфортні умови праці та правильне сприйняття кольору матеріалів і покриттів, що є важливим при контролі якості оздоблення меблевих виробів.

Світильники повинні відповідати умовам виробничого середовища, тобто, мати достатній ступінь захисту (IP) від пилу; бути стійкими до механічних впливів; відповідати вимогам електробезпеки; мати заземлення металевих корпусів; забезпечувати безпечну експлуатацію в умовах підвищеної пожежної небезпеки.

Для забезпечення економічності експлуатації доцільно застосовувати світильники зі світлодіодними (LED) джерелами світла, які характеризуються високою світловою віддачею; тривалим терміном служби; низьким енергоспоживанням; зменшеними витратами на обслуговування.

3.3. Вибір систем освітлення цеху та їх характеристика

У цеху передбачається: робоче освітлення (загальне рівномірне); місцеве освітлення (за потреби на робочих місцях підвищеної точності); аварійне та евакуаційне освітлення для забезпечення безпеки при відключенні основного живлення.

Робоче освітлення цеху призначене для забезпечення нормованих умов праці при виконанні всіх технологічних операцій у штатному режимі роботи. Основним видом освітлення прийнято загальне рівномірне освітлення, яке створює необхідний рівень освітленості на всій площі виробничого приміщення незалежно від розташування робочих місць. Загальне рівномірне освітлення передбачає розміщення світильників у верхній зоні приміщення (на фермах) із рівномірним розподілом по площі цеху. Така система забезпечує: однакові умови освітлення по всій площі приміщення; можливість гнучкого перепланування виробничих зон; зниження контрастності між освітленими та затемненими ділянками; безпечне пересування персоналу та обслуговування обладнання.

Правильний вибір типу світильників, їх кількості та схеми розміщення дозволяє досягти нормативних показників освітленості при мінімальних витратах електроенергії та забезпечити надійну експлуатацію освітлювальної установки.

Загальне освітлення виконується світильниками зі світлодіодними (LED) джерелами світла, що забезпечують високу світлову віддачу, тривалий ресурс роботи та знижене енергоспоживання. З огляду на підвищену запиленість деревообробного виробництва світильники повинні мати відповідний ступінь захисту (не нижче IP54), а їх конструкція - запобігати накопиченню пилу.

Світильники встановлюються на однаковій висоті з рівномірним кроком між рядами та в ряду. Відстань між світильниками визначається з урахуванням: висоти підвісу; світлорозподілу світильника; коефіцієнта використання світлового потоку; необхідної рівномірності освітлення.

Застосування енергоефективних рішень дозволяє знизити експлуатаційні витрати підприємства та скоротити споживання електроенергії без погіршення умов праці. Для підвищення енергоефективності передбачається: використання світлодіодних світильників з високим коефіцієнтом корисної дії; раціональне розміщення світильників; зонування освітлення; можливість автоматичного керування (датчики руху, таймери, системи диспетчеризації).

Аварійне та евакуаційне освітлення цеху призначене для забезпечення безпеки персоналу у разі зникнення напруги робочого освітлення, виникнення пожежі або іншої надзвичайної ситуації. Наявність такої системи є обов’язковою для виробничих приміщень і передбачається вимогами чинних нормативних документів. Система аварійного та евакуаційного освітлення повинна відповідати таким вимогам: автоматичне ввімкнення при зникненні основного живлення; достатня тривалість автономної роботи (не менше нормативного часу евакуації); чітке маркування світильників; періодичний контроль справності; мінімальний рівень пульсації світлового потоку.

Аварійне освітлення забезпечує мінімально необхідний рівень освітленості для безпечного завершення технологічного процесу; зупинки обладнання; запобігання травматизму; збереження матеріальних цінностей. У виробничих приміщеннях аварійне освітлення, як правило, організовується як освітлення безпеки. Воно передбачає встановлення світильників у зонах підвищеної небезпеки: біля деревообробних верстатів; у місцях керування технологічними лініями; поблизу електрощитового обладнання; у проходах між обладнанням. Рівень освітленості аварійного освітлення приймається не менше 5 % від нормованого значення робочого освітлення, але не менше 2 лк у виробничих приміщеннях для безпечного пересування персоналу.

Евакуаційне освітлення призначене для забезпечення безпечного та

організованого виходу працівників із приміщення у разі аварійної ситуації. Воно встановлюється: вздовж шляхів евакуації; у проходах; біля виходів із цеху; у місцях зміни напрямку руху; біля пожежних щитів і засобів пожежогасіння. Мінімальна освітленість на осі шляхів евакуації повинна забезпечувати чітку орієнтацію персоналу та видимість перешкод. Також передбачаються світлові покажчики «Вихід» із автономним живленням. Мінімальна освітленість на осі основних шляхів евакуації повинна складати не менше 1 лк, а у місцях підвищеної небезпеки - не менше 5 лк. Час автономної роботи - не менше 1 години.

3.4. Розрахунок освітлювальної установки системи загального освітлення

Розрахунок освітлювальної установки проведемо методом коефіцієнта використання [12], методику застосування якого наведено в додатку А.

Нормована освітленість приміщення $\boldsymbol{E_{min}}$ = 200 лк. Висота приміщення цеху $\boldsymbol{h}$ = 6 м; висота розрахункової поверхні над підлогою $\boldsymbol{h_p}$ = 0,8 м; висота підвісу світильника $\boldsymbol{h_c}$ = 0,2 м. Стіни і стеля оштукатурені та побілені. Коефіцієнти відбиття: стін - $\rho_{ст}$=50%, стелі - ρ_c = 70%, підлоги - $\rho_п$ = 10%.

Розрахункова висота світильника:

$$\boldsymbol{H_p} = 6 - (0{,}8 + 0{,}2) = 5 \text{ м.}$$

Індекс приміщення:

$$\boldsymbol{i} = \frac{36 \cdot 24}{5 \cdot (36 + 24)} = 2{,}88 .$$

Коефіцієнт використання η враховує співвідношення розмірів приміщення і залежить від типу світильника, коефіцієнтів відбиття стін, стелі, робочої поверхні та від показника приміщення. Приймаємо: η = 0,7.

Світловий потік для забезпечення необхідної освітленості в приміщенні:

$$\boldsymbol{\Phi_p} = \frac{200 \cdot 1,5 \cdot (36 \cdot 24) \cdot 1,15}{0,7} = 407314,3 \text{ лм}.$$

Для загального рівномірного освітлення прийнято до встановлення світильники фірми «Ватра» типу ДСП17В-60-221 У2 з світлодіодною лампою потужністю $\boldsymbol{P_{вст}}$ = 60 Вт та світловим потоком $\boldsymbol{\Phi_л}$ = 9000 лм та КСС типу Г.

Необхідна кількість світильників для робочого освітлення приміщення:

$$\boldsymbol{N} = \frac{407314,3}{9000} = 46 \text{ шт.}$$

З урахуванням КСС найбільш доцільна відстань між світильниками:

$$\boldsymbol{L} = (0,8 \div 1,2) \cdot 5 = 4 \div 6 \text{ м.}$$

Приймаємо $\boldsymbol{L}$ = 4,5 м.

Відстань від крайнього ряду світильників до стін:

$$\boldsymbol{l} = (0,3 \div 0,5) \cdot 5 = 1,5 \div 2,5 \text{ м.}$$

Приймаємо $\boldsymbol{l}$ = 1,75 м.

Кількість світильників в ряду:

$$\boldsymbol{n_A} = \frac{36 - 2 \cdot 1,75}{4,5} + 1 = 8 \text{ шт.}$$

Кількість рядів:

$$n_B = \frac{24 - 2 \cdot 1,75}{4,5} + 1 = 6 \text{ ряди.}$$

Відстань між лампами:

$$L_A = \frac{24 - 2 \cdot 1,75}{6 - 1} = 4,1 \text{ м}.$$

$$L_B = \frac{36 - 2 \cdot 1,75}{8 - 1} = 4,64 \text{ м}.$$

Загальна кількість світильників 48 шт.

Розрахунковий світловий потік однієї лампи:

$$\Phi_{р.л} = \frac{407314,3}{48} = 8485,7 \text{ лм}.$$

Загальна фактична освітленість однієї лампи:

$$E_ф = \frac{200 \cdot 9000}{8485,7} = 212,2 \text{ лк}.$$

Відхилення фактичної освітленості від нормативного значення:

$$E_{\%} = \frac{212,2 - 200}{200} \cdot 100 = 6,1\%$$

Відхилення фактичної освітленості від нормативного значення не перевищує допустимих меж.

Прийнято до встановлення 6 рядів світильників по 8 світильників в ряду.

Живлення освітлення здійснюється від освітлювального щитка ЩО-6.

3.5. Розрахунок освітлювальної установки аварійного освітлення

Нормована освітленість аварійного освітлення складає не менше 5 % від робочого освітлення, але не менше 2 лк.

Отже:

$$\boldsymbol{E_{ав}} = 5 \text{ лк}$$

Світловий потік для забезпечення необхідної освітленості в приміщенні:

$$\boldsymbol{\Phi_{ав.р}} = \frac{5 \cdot 1,5 \cdot (36 \cdot 24) \cdot 1,1}{0,7} = 10182,8 \text{ лм}.$$

Як світильники аварійного освітлення доцільно застосовувати світлодіодні аварійні світильники із вбудованими акумуляторними модулями, які автоматично переходять у режим аварійного живлення при зникненні напруги.

Як світильники аварійного освітлення використовуємо світильники фірми «Ватра» ДПП06У-6-211 У3.1 з світлодіодною лампою потужністю $\boldsymbol{P_{вст}}$ = 8 Вт та світловим потоком $\boldsymbol{\Phi_л}$ = 835 лм та КСС типу Д (косинусна). Світильник має вбудоване електронне джерело живлення та акумуляторну батарею (ЕДЖ Vatra та БАЖ з АКБ)

Необхідна кількість світильників для аварійного освітлення приміщення:

$$\boldsymbol{N} = \frac{10182,8}{835} = 12 \text{ шт.}$$

Встановлюємо по 2 світильники аварійного освітлення в кожному ряду світильників.

3.6. Виконання мережі живлення освітлювальної установки

Мережа робочого освітлення виконується окремими груповими лініями з можливістю пофазного розподілу навантаження. Передбачається захист від коротких замикань і перевантажень; можливість зонального керування освітленням; зручність технічного обслуговування.

Живлення освітлення здійснюється від розподільчого щита освітлення, що підключений до загальної системи електропостачання підприємства.

Світильники робочого освітлення заживлено окремими груповими лініями (кожен ряд світильників), кожну з яких під’єднано до автоматичного вимикача у щиті освітлення. Живлення аварійного освітлення здійснюється від окремого автоматичного вимикача у щиті освітлення.

Автономні світильники аварійного освітлення обладнані акумуляторами з автоматичним зарядом у нормальному режимі та автоматичним переходом у режим аварійного освітлення при зникненні напруги.

РОЗДІЛ 4
САПР

САПР являє собою комплекс заходів з автоматизації процесів проєктування

САПР - система технічних і програмних засобів з методичним супроводом, яка автоматизує проєктування об'єктів (процесів) деякого класу. САПР – людино-машинна система, що використовує сучасні математичні методи, засоби обчислювальної техніки, а також нові організаційні принципи проєктування для практичної реалізації ефективного проєктного рішення існуючого об’єкту.

Застосування автоматизації процесів проєктування продемонстровано на прикладі вибору потужності трансформаторів трансформаторної підстанції як одного з етапів процесу проєктування.

Постановка задачі:

- визначити потужність компенсуючих пристроїв та потужність трансформатора з урахуванням компенсації;

- вибрати найбільш доцільний варіант до встановлення.

Розрахунок та вибір потужності силового трансформатора з урахуванням компенсації виконано згідно методики, наведеної в Додатку А (А.24 –А.37).

Вихідними даними є:

- розрахункове активне та реактивне навантаження на шинах низької напруги трансформатора,

- категорія надійності електропостачання електроприймачів, які передбачається заживити від даного трансформатора.

Для реалізації техніко-економічних розрахунків необхідним є задання потужностей трансформаторів для порівняння варіантів.

Результатом розрахунку (рис. 4.1) є визначення оптимальної кількості трансформаторів, потужності компенсуючих пристроїв та приведених затрат по кожному варіанту.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	Вибір потужності трансформаторів трансформаторної підстанції																		
2		Рсум	Qсум	Sсум	Кз	m	Тв	Тм	тау										
3		397,80	356,69	534,29	0,8	8,20	2000,00	2300,00	1097,77										
4	Варіант	Sт	Nтмін	Nт	Qмакс Т	Qнк1	Qкку1	тип ККУ1	Qнк2	Qкку2	Qкку ф	Ркз	Рхх	Кзд	РххТ	Ве,т.грн	Зт	Зкку	Зсум
5																			
6	1	160	3,11	4	322,34	34,35	100	4*УКРМ 0.4-25/3-5	-63,31	0	100	2,65	0,73	0,74	2,92	100,345	282,105	20,8033	302,908
7	2	250	1,99	2	41,94	314,75	320	2*УКРМ 0.4-160/6-20	-213,31	0	320	3,7	1,05	0,80	2,1	77,150	198,750	55,307	254,056
8	3	400	1,24	2	501,36	-144,67	0		-43,31	0	0	5,5	1,45	0,67	2,9	91,95	255,15	0,00	255,15
9																			

Рисинок 4.1 – Результати розрахунку щодо вибору потужності трансформатолрів та ККУ в Excel

РОЗДІЛ 5
ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА

Призначення захисного заземлення полягає у забезпеченні безпечної експлуатації електроустановок, захисті обслуговуючого персоналу від ураження електричним струмом, а також у забезпеченні надійної роботи електричного обладнання. Основними функціями захисного заземлення трансформаторної підстанції є відведення струмів короткого замикання в землю; зменшення напруги дотику та крокової напруги до безпечних значень у випадку пошкодження ізоляції або виникнення аварійного режиму.

До заземлювального пристрою підключаються металеві неструмовідні частини обладнання підстанції, корпуси трансформаторів, розподільчих пристроїв, шаф керування, а також блискавкозахисні елементи.

Заземлювальний пристрій трансформаторної підстанції складається із контуру заземлення , який включає горизонтальні та вертикальні заземлювачі. Горизонтальні заземлювачі виконують у вигляді сталевих смуг або круглої сталі, які прокладають у ґрунті по периметру підстанції. Вертикальні заземлювачі являють собою сталеві стрижні або труби, які забивають у землю на певну глибину для зменшення опору заземлення. Провідники контуру заземлення виготовляються з міді або оцинкованої сталі. Вертикальні стрижні встановлюються на глибину не менше 2 м для забезпечення надійного контакту з ґрунтом. Горизонтальні шини або смуги прокладаються на глибині 0,5–0,8 м, з’єднуючись із вертикальними стрижнями зварюванням або спеціальними болтовими з’єднаннями. Всі з’єднання повинні бути стійкими до корозії та механічних навантажень.

Основними вимогами до контуру є: забезпечення низького опору заземлення згідно з нормативами; стійкість до корозії та механічних пошкоджень; надійне електричне з’єднання всіх елементів.

Правильно виконане заземлення трансформаторної підстанції забезпечує надійну та безпечну роботу електроустановок, сприяє ефективному спрацюванню захисних пристроїв та знижує ризик ураження людей електричним струмом. Розрахунок заземлення повинен враховувати максимальні струми короткого замикання та властивості ґрунту.

Розрахунок заземлюючого пристрою зводиться до розрахунку заземлювача згідно рекомендацій [12] з використанням методики, наведеної в додатку В.

Спорудження заземлювача передбачається з зовнішньої сторони трансформаторної підстанції з розміщенням вертикальних електродів по периметру. Заземлюючий пристрій використовуємо одночасно для електроустановок 0,4 кВ та 10 кВ.

Ґрунт в місці спорудження підстанції – суглинок. Кліматична зона – 3.

В якості вертикальних заземлювачів використовуємо сталеві стержні діаметром 16 мм і довжиною 2 м. Верхні кінці електродів розміщені на глибині 0,7 м від поверхні ґрунту. До них приварений горизонтальний електрод стержневого типу діаметром 16 мм.

Опір заземлювального пристрою повинен відповідати вимогам нормативних документів.

Згідно ПУЕ опір заземлюючого пристрою $\boldsymbol{R_з} = 4$ Ом, так як заземлення здійснюємо одночасно для сторони 10 і 0,4 кВ.

Опір ґрунту для вертикальних і горизонтальних електродів:

$$\rho_{p_Г} = 100 \cdot 2 = 200 \text{ Ом} \cdot \text{м};$$

$$\rho_{p_В} = 100 \cdot 1{,}4 = 140 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Опір розтіканню одного вертикального електрода стержневого типу:

$$\boldsymbol{R_{o.Ве}} = \frac{140}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 2}\left(\ln\frac{2 \cdot 2}{0{,}016} + \frac{1}{2}\ln\frac{4 \cdot 1{,}7 + 2}{4 \cdot 1{,}7 - 2}\right) = 67{,}9 \text{ Ом}.$$

Попередньо приймаємо $\frac{a}{l} = 1$.

Орієнтовна кількість вертикальних електродів $n = 20$.

Попередньо вибираємо коефіцієнт використання вертикальних електродів $K_{в_В} = 0{,}47$, а коефіцієнт використання горизонтальних електродів $K_{в_Г} = 0{,}27$.

Довжина горизонтального електрода:

$$l = 1{,}05 \cdot 20 \cdot 2 = 43{,}1 \text{ м.}$$

Визначаємо розрахунковий опір розтіканню горизонтальних електродів :

$$R_{Ге} = \frac{200}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 43{,}1} \cdot \ln \frac{43{,}1^2}{0{,}016 \cdot 0{,}708} = 8{,}86 \text{ Ом.}$$

Розрахунковий опір горизонтального електроду:

$$R_{Р.Г} = \frac{8{,}86}{0{,}27} = 32{,}8 \text{ Ом.}$$

Розраховуємо опір вертикальних електродів :

$$R_{Р.В} = \frac{67{,}9}{20 \cdot 0{,}47} = 7{,}22 \text{ Ом.}$$

Опір групового заземлювача:

$$R_{ГР} = \frac{32{,}8 \cdot 7{,}22}{32{,}8 + 7{,}22} = 5{,}9 \text{ Ом} > R_{доп} = 4 \text{ Ом.}$$

Уточнюємо необхідний опір вертикальних електродів:

$$R_B = \frac{32{,}8 \cdot 4}{32{,}8 - 4} = 4{,}55\,\text{Ом}.$$

Визначаємо кількість вертикальних електродів:

$$N = \frac{67{,}9}{4{,}55 \cdot 0{,}47} = 32 \text{ електроди.}$$

Остаточно приймаємо до встановлення 32 вертикальних електроди, які вбиваються на відстані $a = \frac{l}{N} = \frac{43{,}1}{32} = 1{,}35$ м один від одного і з'єднуються горизонтальним електродом.

Уточнимо опір вертикальних електродів:

$$R_{Р.В} = \frac{R_{о.Ве}}{n \cdot K_{в_B}} = \frac{67{,}9}{32 \cdot 0{,}47} = 4{,}51\,\text{Ом}.$$

Опір групового заземлювача:

$$R_{ГР} = \frac{32{,}8 \cdot 4{,}51}{32{,}8 + 4{,}51} = 3{,}97\,\text{Ом} < R_{доп} = 4\ \text{Ом}.$$

Усі металеві неструмовідні частини електрообладнання підстанції - корпуси трансформаторів, шафи розподільчих пристроїв, металеві конструкції, кабельні оболонки - повинні бути надійно приєднані до заземлювального контуру. Таке з'єднання забезпечує вирівнювання потенціалів і запобігає виникненню небезпечної напруги на корпусах обладнання.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

В кваліфікаційному проєкті вирішено актуальне завдання побудови системи електропостачання промислового об’єкту для ефективного розподілу електричної енергії до електроприймачів з мінімальними втратами електроенергії.

Основні вимоги, які вирішено при проєктуванні СЕП промислового об’єкту, полягали в оптимізації параметрів системи шляхом правильного визначення електричних навантажень і вимог до безперебійності електропостачання; вибору числа і потужності трансформаторів; вибору марок і перерізів кабелів до ТП, СП та ЕП; конструкцій промислової мережі; засобів компенсації реактивної потужності; вибір шаф розподілу електроенергії, вибір комутаційних апаратів.

Проєктування системи електропостачання промислового об’єкту базується на детальному аналізі електричних навантажень. Застосування сучасних методів розрахунку електричних навантажень різних ієрархічних рівнів забезпечує раціональний вибір числа і потужності трансформаторів та засобів компенсації реактивної потужності, що є основою зменшення втрат електроенергії в мережі розподілу електричної енергії та забезпечення її раціональної побудови.

Результати побудови картограми електричних навантажень і визначення теоретичного центру електричних навантажень дозволили прийняти технічно та економічно обґрунтовані рішення щодо структури системи електропостачання, забезпечуючи мінімальні втрати електроенергії та підвищення ефективності її розподілу.

У процесі проєктування виконано вибір джерела живлення та рівня напруги, розроблено схему зовнішнього та внутрішнього електропостачання, обґрунтовано кількість і потужність силових трансформаторів трансформаторної підстанції з урахуванням категорії надійності електроприймачів.

Особливу увагу приділено питанням компенсації реактивної потужності шляхом встановлення низьковольтних комплектних конденсаторних установок,

що дозволяє знизити втрати електроенергії, підвищити коефіцієнт потужності та зменшити навантаження на мережу.

Також проведено розрахунок струмів короткого замикання в мережі 10 кВ і 0,4 кВ та здійснено перевірку допустимості роботи комутаційно-захисної апаратури та провідників мережі. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі 10 кВ дозволяє визначити найбільш важкі аварійні режими роботи системи електропостачання, забезпечити правильний вибір електрообладнання та гарантувати надійну роботу систем релейного захисту. Результати перевірки допустимості роботи комутаційно-захисної апаратури та провідників мережі підтвердили правильність прийнятих технічних рішень по вибору комутаційної апаратури та провідників.

У результаті виконання проєкту електропостачання промислового об’єкта розроблено технічно обґрунтовану та економічно доцільну систему електрозабезпечення, яка забезпечує стабільне електроживлення технологічного обладнання, раціональний розподіл електроенергії, відповідає вимогам надійності, безпеки та енергоефективності. Розроблена система електропостачання забезпечує необхідну надійність електропостачання підприємства та створює умови для подальшого розвитку виробництва.

В проєкті розроблено систему робочого, аварійного та евакуаційного освітлення виробничого приміщення цеху із застосуванням сучасних світлодіодних світильників. Проведено світлотехнічний розрахунок, визначено встановлену потужність освітлювальної мережі та забезпечено відповідність нормованим показникам освітленості. Проєктування освітлення цеху виконано відповідно до чинних будівельних норм та правил. Спроєктована освітлювальна установка цеху забезпечує нормативні умови освітлення, безпечність виробництва та високу якість виконання зорових робіт.

Застосування загального рівномірного робочого освітлення в цеху забезпечує створення безпечних, комфортних та енергоефективних умов праці. Передбачена система аварійного та евакуаційного освітлення забезпечує нормативний рівень освітленості у разі зникнення основного живлення, гарантує

безпечну евакуацію персоналу та відповідає вимогам електробезпеки й пожежної безпеки для виробничих приміщень меблевої фабрики.

Таким чином, прийняті в проєкті технічні рішення забезпечують необхідний рівень надійності електропостачання; безпечні умови праці персоналу; раціональне використання електричної енергії; можливість подальшої модернізації та розвитку підприємства. Розроблена система електропостачання повністю відповідає сучасним вимогам до промислових об’єктів та забезпечує ефективну, стабільну й безпечну роботу підприємства в нормальних та аварійних режимах.

Виконані розробки дають змогу перейти до практичної частини будівництва й впровадження в дію запроєктованої системи електропостачання.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Бурбело М.Й. Розрахунок внутрішнього електропостачання. Вінниця : ВНТУ, 2017. 122 с.

2. Давиденко Л.В., Коменда Н.В., Давиденко В.А., Євсюк М.М. Електропостачання промислових об’єктів. Луцьк: ВІП ЛНТУ, 2022. 244с.

3. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. Київ: Мінрегіонбуд, 2018.

4. Конденсаторні установки. ТОВ «Бутон». URL: https://tovbuton.com.ua/

5. Правила улаштування електроустановок. Харків : «Індустрія», 2014.

6. Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах. Є.І. Бардик, М.П. Болотний. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 53 с.

7. Каталог продукції. ТОВ «УкрЕлектро». URL: https://ukrelektro.com.ua/

8. Камери КСО. ТОВ "ТехноЕлектро". URL:: http://www.tekhar.com/

9. Прилади обліку. ТОВ «Телекарт-Прилад». URL: https://telecard.odessa.ua/

10. Каталог продукції. "Мегомметр". URL: https://www.megommetr.com/

11. Трансформатори струму. «Електросервіс» URL: http://elektroservice.com.ua

12. Рудницький В.Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Суми: ВТД «Університетська книга», 2007.

13. Каталог продукції АСКО-УКРЕМ. URL:: https://www.acko.ua/

14. Панелі ЩО-90. ТОВ "ТехноЕлектро". URL:: http://www.tekhar.com/

15. Автоматичні вимикачі. ТОВ «Промфактор» URL: https://promfactor.com/

16. Споживачі електричної енергії. Електричне освітлення : навч. посіб. за ред. Солов’я О.І. Черкаси: ФОП Гордієнко Є.І., 2018. 132 с.

17. Костик Л.М. Проектування промислового освітлення. ТНТУ, 2015. 132с.

18. Каталог освітлювальних приладів. Корпорація «Ватра», 2022. 190 с. URL: http://vatra.ua.

19. Кушлик Р.В., Яковлєв В.Ф., Куценко Ю.М., Лисиченко М.Л. Електричне освітлення та опромінення. Харків: ТОВ «Планета-прінт», 2016. 332 с.

20. Основи охорони праці: Підручник. За ред. К.Н. Ткачука. К. : Основа, 2011.