

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»

Електропостачання заводу будівельних матеріалів встановленою потужністю 2350 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 ЕЕЗ-41

Поляк Дмитро Богданович

(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

Поляк Д.Б. Електропостачання заводу будівельних матеріалів встановленою потужністю 2350 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 спроектованої системи електропостачання.

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

ANNOTATION

Poliak D.B. Power supply to the building materials plant with an installed capacity of 2350 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	9
РОЗДІЛ 1 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ .	11
РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ	14
2.1. Розрахунок електричних навантажень	14
2.1.1. Розрахунок силових електричних навантажень.	14
2.1.2. Розрахунок освітлювальних навантажень.	16
2.2. Побудова картограми і визначення теоретичного центру навантажень	17
2.3. Розрахунок повного навантаження на шинах низької напруги трансформаторів ТП	18
2.4. Вибір числа і потужності трансформаторів трансформаторної підстанції і компенсуючих пристроїв	18
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	23
2.8. Розрахунок струму короткого замикання в мережі 10 кВ	24
2.9. Перевірка вибраного перерізу кабельної лінії на термічну стійкість струму короткого замикання	26
2.10. Вибір обладнання на напругу 10 кВ	27
2.10.1. Вибір роз'єднувачів	27
2.10.2. Вибір вимикачів навантаження	28
2.10.3. Вибір контрольно-вимірювальних приладів	29
2.10.4. Вибір трансформаторів струму на шинах джерела живлення	30

					<i>ЛНТУ.971101.000 ПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Поляк				Електропостачання заводу будівельних матеріалів встановленою потужністю 2350 кВт. Пояснювальна записка.	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірів	Давиденко						4	5
						ФАБЕ, гр. ЕЕЗ-41		
Н.контроль	Ващелюк							
Затвердив	Волинець							

2.11. Проектування внутрішньозаводської розподільчої мережі	31
2.11.1. Вибір схеми внутрішньозаводської мережі	31
2.11.2. Вибір ввідних розподільчих пристроїв	32
2.11.3. Вибір перерізу КЛ внутрішньозаводської мережі	32
2.12. Розрахунок струмів КЗ в мережі до 1 кВ.	33
2.13. Вибір обладнання на напругу 0,4 кВ	37
2.13.1. Вибір комірок розподільчого пристрою 0,4 кВ ТП	37
2.13.2. Вибір автоматичних вимикачів	38
2.13.3. Вибір рубильників	39
2.13.4. Вибір трансформаторів струму.	39
2.14. Розрахунок цехового електропостачання	41
2.14.1. Вибір схеми цехової мережі	41
2.14.2. Розрахунок цехової мережі живлення	42
2.14.3. Розрахунок освітлювальної установки цеху	44
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК І ВИБІР ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ТА ЕЛЕМЕНТІВ СХЕМИ КЕРУВАННЯ ВЕНТУСТАНОВКИ	47
3.1. Загальна характеристика вентиляційної установки	47
3.2. Визначення параметрів вентиляційної установки	50
3.2.1. Розрахунок повітрообміну та вибір вентилятора	50
3.2.2. Визначення основних розмірів вентилятора	51
3.3. Вибір потужності електродвигуна електроприводу вентилятора	53
3.4. Вибір пускової і захисної апаратури	54
3.5. Автоматизація вентиляційної установки	56
3.5.1. Характеристика та основні вимоги до схеми керування	56
3.5.2. Вибір контрольно-вимірювальних елементів	58
3.5.3. Вибір контролера	58
РОЗДІЛ 4 САПР	60
РОЗДІЛ 5 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА	62
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	65
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	67

					ЛНТУ.971101.000 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Система електропостачання промислового підприємства створюється з метою забезпечення живлення електроенергією промислових споживачів. Питання організації ефективної системи електропостачання промислових об'єктів має важливе значення для забезпечення безперебійної роботи підприємств та підвищення продуктивності виробництва. Стабільна робота виробничих процесів, технологічного обладнання, допоміжних систем можлива за умови надійного постачання електроенергії з відповідними параметрами напруги та частоти.

У сучасних умовах особлива увага приділяється підвищенню ефективності та економічності систем електропостачання. Це досягається завдяки вибору оптимальних режимів роботи електричних мереж, зниженню втрат електричної енергії під час її передачі та розподілу, а також використанню сучасного комплектного електрообладнання, автоматизованих систем керування та захисту. Важливим аспектом є раціональне та економне використання електроенергії, що набуває дедалі більшого значення в умовах зростання енергетичних витрат і необхідності підвищення енергоефективності промислових підприємств.

На етапі проєктування системи електропостачання необхідно передбачити такі технічні рішення, які забезпечать надійну, безпечну та економічно доцільну роботу електричних мереж. Під час розроблення проєкту враховуються особливості технологічного процесу підприємства, характер і потужність електроприймачів, категорії надійності електропостачання, а також перспективи розвитку виробництва. Важливим завданням є вибір раціональної схеми електропостачання, правильний підбір силових трансформаторів, кабельних та повітряних ліній, а також елементів засобів захисту.

Раціонально спроектована система електропостачання повинна забезпечувати ефективний розподіл електричної енергії між окремими споживачами, мінімальні втрати електроенергії, високий рівень надійності та безпеки експлуатації. Крім того, вона має відповідати сучасним вимогам енергоефективності, можливості модернізації та впровадження нових технологій.

					ЛНТУ.971101.000 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розроблення та обґрунтування раціональної системи електропостачання промислового підприємства є важливим і актуальним завданням, вирішення якого сприяє підвищенню ефективності використання електричної енергії, зниженню експлуатаційних витрат та забезпеченню надійної роботи виробничого обладнання.

Метою кваліфікаційного проєкту є підвищення ефективності внутрішньозаводської системи електропостачання промислового об'єкта шляхом застосування сучасних методів розрахунку електричних навантажень, вибору оптимальної схеми електропостачання та обґрунтування параметрів елементів електричної мережі. При цьому особлива увага приділяється забезпеченню необхідного рівня надійності електропостачання, зниженню втрат електричної енергії, підвищенню економічності роботи системи та створенню безпечних умов експлуатації електрообладнання.

					ЛНТУ.971101.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ

Завод будівельних матеріалів є промисловим підприємством, що спеціалізується на виробництві продукції, яка використовується у будівництві житлових, промислових та інфраструктурних об'єктів. До основної продукції підприємства належать бетонні та залізобетонні вироби, блоки та тротуарна плитка, сухі будівельні суміші та інші будматеріали.

В склад заводу будівельних матеріалів входять: головний виробничий корпус, цех лако-фарбових матеріалів, цех сухих матеріалів, цех плитки, цех металоконструкцій, виробничий корпус №3, ремонтно-механічний цех, а також будівля адміністрації заводу.

Встановлену потужність об'єктів, площу та характеристику середовища цехів наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 - Характеристика цехів

Назва об'єкту	P_n , кВт	F , м ²	Характеристика середовища		
			тип	клас П	клас В
1 Головний виробничий корпус	765,5	2376	нормальне	П-П-а	В-Па
2 Цех лако-фарбових матеріалів	246,4	1440	нормальне	П-П-а	В-Па
3 Цех сухих матеріалів	210,5	1152	нормальне	П-П-а	В-Па
4 Цех плитки	350,5	1152	нормальне	П-П-а	В-Па
5 Цех металоконструкцій	214	1152	нормальне	П-П-а	В-Па
6 Виробничий корпус №3	345,5	1800	нормальне	П-П-а	В-Па
7 Ремонтно-механічний цех	172,6	864	нормальне	П-П-а	В-Па
8 Будівля адміністрації	45	576	нормальне	П-П-а	В-Па

Споживачі основного виробництва заводу є споживачами II категорії, а решта споживачів є споживачами III категорії. Споживачем I категорії є пожежна сигналізація.

					<i>ЛНТУ.971101.000 ПЗ</i>		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив	Поляк				Електропостачання заводу будівельних матеріалів встановленою потужністю 2350 кВт. Пояснювальна записка.	Літ.	Аркуш
Перевірів	Давиденко						9
							3
Н.контроль	Ващелюк					ФАБЕ, гр. ЕЕЗ-41	
Затвердив	Волинець						

Режим роботи підприємства – двозмінний.

Річне число годин використання максимуму електричного навантаження складає: $T_{\max}=2500$ год/рік

Підприємство знаходиться на віддалі 1,1 км від понижувальної підстанції 110/10 кВ, на якій є запас потужності на напругу 10 кВ. Потужність короткого замикання на шинах 10 кВ підстанції складає 95 МВА.

Дозволена енергосистемою до використання в години максимуму навантаження реактивна потужність складає $Q_{e\max} = 280$ кВАр.

Завод будівельних матеріалів є енергоємним підприємством із значною кількістю електроприймачів різної потужності.

Технологічний процес виробництва будівельних матеріалів складається з ряду послідовних операцій, які забезпечують підготовку сировини, її переробку та отримання готової продукції. До основних етапів технологічного процесу належать приймання та зберігання сировини, її транспортування до виробничих дільниць, дозування компонентів, змішування, формування виробів, термічна або механічна обробка, а також сушіння, твердіння та складування готової продукції. Для виконання цих операцій застосовується різноманітне технологічне обладнання: дробарки, млини, змішувачі, конвеєри, дозатори, пресові установки, сушильні камери, підйомально-транспортні механізми та інші виробничі агрегати.

До основних електроприймачів підприємства належать електроприводи технологічних машин і механізмів, системи транспортування матеріалів, компресорні установки, вентиляційні системи, системи освітлення виробничих та допоміжних приміщень. Характерною особливістю електричних навантажень є наявність значної кількості електродвигунів різної потужності, які працюють у різних режимах, нерівномірність графіка навантаження.

Споживачі виробничих приміщень розраховані на напругу 0,4/0,23 кВ змінного струму промислової частоти.

Перелік та характеристику електроприймачів цеху лако-фарбових матеріалів наведено в таблиці 1.2.

					ЛНТУ.971101.000 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.2 – Характеристика електроприймачів цеху

Назва електроприймача	К-сть n , шт.	Встановлена потужність P_n , кВт	Коефіцієнт використання K_{ϵ}	Коефіцієнт потужності $\cos \varphi$
Кран	1	7,5	0,09	0,45
Млин	6	15,5	0,25	0,6
Кран	1	10,5	0,09	0,45
Мішалка	2	12,5	0,25	0,6
Насос	4	5,5	0,6	0,75
Змішувач-ректор	2	29,25	0,75	0,85
Водонагрівач	1	15	0,6	0,95
Вентиляційна установка	3	3,5	0,65	0,8
Припливна вентиляційна установка	2	2,2	0,65	0,75

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ

2.1. Розрахунок електричних навантажень

Для визначення електричних навантажень використано загальноприйняті методи розрахунку. Для розрахунку силових електричних навантажень використано метод впорядкованих діаграм, який базується на врахуванні режимів роботи окремих електроприймачів і визначити розрахункові значення активної, реактивної, повної потужності груп електроприймачів з урахуванням коефіцієнтів використання та одночасності роботи обладнання. Для визначення освітлювальних електричних навантажень використано метод питомої потужності на освітлювану площу. Суть методу полягає у визначенні встановленої потужності освітлювальних установок на основі нормативних значень питомої потужності освітлення для різних типів приміщень та їх площі. Цей метод враховує характер приміщення, вимоги до рівня освітленості та тип застосованих джерел світла. Для визначення електричних навантажень на вищих рівнях системи електропостачання (СЕП), таких як цехові розподільчі пункти, шини низької та високої напруги трансформаторної підстанції, застосовано ієрархічний підхід. Даний підхід передбачає послідовне узагальнення електричних навантажень від нижчих рівнів системи до вищих рівнів розподілу електроенергії. Порядок розрахунку ЕН згідно [1-3] наведений в додатку А.

2.1.1. Розрахунок силових електричних навантажень

Детальний розрахунок силових електричних навантажень проводимо на прикладі цеху лако-фарбових матеріалів. Попередньо всі споживачі розділено на групи споживачів із змінним та практично постійним графіком навантаження.

Результати розрахунків зведено в таблицю 2.1 та 2.2.

					<i>ЛНТУ.971101.000 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Електропостачання заводу будівельних матеріалів встановленою потужністю 2350 кВт. Пояснювальна записка.</i>	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розробив</i>	<i>Поляк</i>						12	33
<i>Перевірів</i>	<i>Давиденко</i>					<i>ФАБЕ, гр. ЕЕЗ-41</i>		
<i>Н.контроль</i>	<i>Ващелюк</i>							
<i>Затвердив</i>	<i>Волинець</i>							

Таблиця 2.1 – Розрахунок електричних навантажень цеху

Назва електроприймачів	n	P_n , кВт	P_n , кВт	K_v	$tg\varphi$	$P_{с.зм}$, кВт	$Q_{с.зм}$, кВАр
I група.							
З змінним графіком							
1 Кран	1	7,5	7,5	0,09	1,98	0,675	1,34
2 Млин	6	15,5	93	0,25	1,33	23,25	31
Разом з змінним графіком	7		100,5	0,24		23,93	32,34
Разом по групі I	7		100,5	0,24		23,93	32,34
II група.							
З змінним графіком							
3 Кран	1	10,5	10,5	0,09	1,98	0,94	1,87
4 Мішалка	2	12,5	25	0,25	1,33	6,25	8,31
Разом з змінним графіком	3		35,5	0,2		7,19	10,18
З постійним графіком							
5 Насос	4	5,5	22	0,6	0,88	13,2	11,64
6 Змішувач-ректор	2	29,25	58,5	0,75	0,62	43,875	27,19
7 Водонагрівач	1	15	15	0,6	0,33	9	2,96
Разом з постійним графіком	7		95,5	0,69		66,07	41,79
Разом по групі II	10		131			73,27	51,97
III група.							
З постійним графіком							
8 Вентиляційна установка	3	3,5	10,5	0,65	0,75	6,82	5,12
9 Припливна вентиляційна установка	2	2,2	4,4	0,65	0,88	2,86	2,52
Разом з постійним графіком	5		14,9	0,65		9,68	7,64
Разом по групі III	5		14,9			9,68	7,64
Разом по цеху	22		246,4			106,88	91,95

Таблиця 2.2 – Розрахунок максимальних електричних навантажень

Характеристика ЕП групи	n	P_n , кВт	K_v	$P_{с.зм}$, кВт	$Q_{с.зм}$, кВАр	m	n_{ef}	K_m	P_m , кВт	Q_m , кВАр	S_m , кВА
I група.											
З змінним графіком	7	100,5	0,24	23,93	32,34		12,97	1,60	38,28	32,34	
Разом по групі I	7	100,5		23,93	32,34	2,07	13,00		38,28	32,34	50,11
II група.											
З змінним графіком	3	35,5	0,2	7,195	10,18	1,19	3,00	2,60	18,71	11,20	
З постійним графіком	6	95,5	0,69	66,075	41,79				66,08	41,79	
Разом по групі II	9	131		73,27	51,97				84,78	52,99	99,98
III група.											
З постійним графіком	5	14,9		9,685	7,64				9,69	7,64	
Разом по групі III	5	14,9		9,685	7,64				9,69	7,64	12,34
Разом по цеху	21	246,4		106,88	91,95				132,75	92,97	162,07

Розрахунок силових електричних навантажень по інших об'єктах підприємства здійснюємо аналогічно.

Результати розрахунку зводимо в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 - Розрахунок силових електричних навантажень

	Назва об'єкту	P_n , кВт	$P_{с.зм}$, кВт	$Q_{с.зм}$, кВАр
1	Головний виробничий корпус	765,5	345,50	271,30
2	Цех лако-фарбових матеріалів	246,4	106,88	91,95
3	Цех сухих матеріалів	210,5	81,60	85,40
4	Цех плитки	350,5	107,70	96,20
5	Цех металоконструкцій	214	58,50	62,90
6	Виробничий корпус №3	345,5	98,00	95,80
7	Ремонтно-механічний цех	172,6	45,4	48,90
8	Будівля адміністрації	45	20,5	19,5
	Разом	2350	864,08	771,95

2.1.2. Розрахунок освітлювальних навантажень

Розрахунок освітлення приміщень виконано відповідно до вимог норм проєктування штучного освітлення ДБН В.2.5-28:2018 [3], які встановлюють необхідні показники освітленості для різних типів виробничих, допоміжних та адміністративних приміщень. Під час проєктування системи освітлення враховано призначення приміщень, характер виконуваних робіт, вимоги до зорової точності, нормативного рівня освітленості робочих поверхонь.

Як джерела освітлення для виробничих приміщень прийнято світильники зі світлодіодними лампами. Використання світлодіодних джерел світла обумовлене їх високою енергоефективністю, значним терміном служби, низьким енергоспоживанням та високою світловіддачею. Світлодіодні світильники характеризуються надійністю роботи, стійкістю до механічних впливів, відсутністю мерехтіння та можливістю забезпечення рівномірного розподілу світлового потоку в робочій зоні.

Результати розрахунку записуємо в таблицю 2.4.

					ЛНТУ.971101.000 ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.4 - Розрахунок освітлювального навантаження

Назва об'єкта	F , м ²	$P_{\text{нум}}$, Вт/м ²	K_n	$P_{\text{н.о.}}$, Вт	$P_{\text{р.о.}}$, кВт	$Q_{\text{р.о.}}$, кВАр
Головний виробничий корпус	2376	11	0,9	26136	25,87	8,50
Цех лако-фарбових матеріалів	1440	11	0,9	15840	15,68	5,15
Цех сухих матеріалів	1152	11	0,9	12672	12,55	4,12
Цех плитки	1152	8	0,9	9216	9,12	3,00
Цех металоконструкцій	1152	10	0,9	11520	11,40	3,75
Виробничий корпус №3	1800	10	0,9	18000	17,82	5,86
Ремонтно-механічний цех	864	10	0,9	8640	8,55	2,81
Будівля адміністрації	576	12,5	0,85	7200	6,73	2,22
Освітлення території	23350	0,5	1	11680	11,68	3,85
Разом					119,41	39,27

2.2. Побудова картограми і визначення теоретичного ЦЕН

Необхідні для побудови картограми розрахунки виконуємо згідно методики в додатку А. Для визначення центру електричних навантажень за генеральним планом визначено координати центрів навантаження кожного об'єкту.

Результати розрахунку записуємо в таблицю 2.5.

Таблиця 2.5 - Картограма електричних навантажень

Назва об'єкту	$P_{\text{с.зм.}}$, кВт	$P_{\text{р.о.}}$, кВт	$P_{\text{заг.}}$, кВт	x , см	y , см	$P_{\text{заг.}} \cdot x$, кВт · см	$P_{\text{заг.}} \cdot y$, кВт · см	r , см	α
Головний виробничий корпус	345,50	25,87	371,37	24,7	46	9173,0	17083,2	7,69	25,08
Цех лако-фарбових матеріалів	106,88	15,68	122,56	45	19,3	5515,3	2365,4	4,42	46,06
Цех сухих матеріалів	81,60	12,55	94,15	35,2	28,3	3313,9	2664,3	3,87	47,97
Цех плитки	107,70	9,12	116,82	69,1	31,2	8072,5	3644,9	4,31	28,12
Цех металоконструкцій	58,50	11,40	69,90	63,3	16,3	4425,0	1139,4	3,34	58,73
Виробничий корпус №3	98,00	17,82	115,82	51,5	45,3	5964,7	5246,6	4,29	55,39
Ремонтно-механічний цех	45,4	8,55	53,95	21,5	16,3	1160,0	879,4	2,93	57,07
Будівля адміністрації	20,5	6,73	27,23	71,2	46	1938,9	1252,7	2,08	89
Разом	864,08	107,74	971,82			39563,3	34276,1		
ЦЕН				40,7	35,3				

2.3. Розрахунок повного навантаження на шинах низької напруги трансформаторів ТП

Результати розрахунку ЕН на шинах 0,4 кВ ТП з урахуванням силових та освітлювальних електричних навантажень цехів наведено в таблицю 2.6.

Таблиця 2.6 - Розрахунок сумарного навантаження на шинах 0,4 кВ ТП

Назва об'єкту	Силове навантаження		Освітлювальне навантаження		Сумарне навантаження		
	$P_{с.зм}$, кВт	$Q_{с.зм}$, кВАр	$P_{р.о}$, кВт	$Q_{р.о}$, кВАр	P_p , кВт	Q_p , кВАр	S_p , кВА
Головний виробничий корпус	345,50	271,30	25,87	8,50	371,37	279,80	464,98
Цех лако-фарбових матеріалів	106,88	91,95	15,68	5,15	122,56	97,10	156,37
Цех сухих матеріалів	81,60	85,40	12,55	4,12	94,15	89,52	129,91
Цех плитки	107,70	96,20	9,12	3,00	116,82	99,20	153,26
Цех металоконструкцій	58,50	62,90	11,40	3,75	69,90	66,65	96,59
Виробничий корпус №3	98,00	95,80	17,82	5,86	115,82	101,66	154,11
Ремонтно-механічний цех	45,4	48,90	8,55	2,81	53,95	51,71	74,73
Будівля адміністрації	20,5	19,5	6,73	2,22	27,23	21,72	34,83
Освітлення території			11,68	3,85	11,68	3,85	12,29
Разом	864,08	771,95	119,41	39,27	983,49	811,22	1274,89

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

Розрахунок кількості та потужності трансформаторів ЦТП, а також необхідної потужності низьковольтних комплектних конденсаторних установок виконано відповідно до методики їх вибору згідно [2], наведеної в додатку А.

Приймаємо потужність трансформатора:

$$S_{ном.Т} = 630 \text{ МВА.}$$

Попередньо приймаємо коефіцієнт завантаження трансформаторів:

$$K_3 = 0,8.$$

Мінімально необхідна кількість трансформаторів:

$$N_{\min} = \frac{1274,89}{0,8 \cdot 630} = 1,95.$$

Приймаємо $N_T = 2$ шт.

Реактивна потужність, яку вигідно передати в мережу до 1 кВ:

$$Q_{\max T} = \sqrt{(2 \cdot 0,8 \cdot 630)^2 - 983,49^2} = 220,93 \text{ кВАр}.$$

Потужність конденсаторних батарей на напругу до 1 кВ:

$$Q_{нк1} = 811,22 - 220,93 = 590,29 \text{ кВАр}.$$

Вибір типу ККУ здійснюємо згідно [4].

Приймаємо до встановлення дві ККУ типу ККУ-0,4-300/10-25-21УЗ потужністю $Q_{ном} = 300$ кВАр.

Додаткова потужність НБК для зменшення втрат групи трансформаторів:

$$Q_{нк2} = 811,22 - 600 - 0,5 \cdot 2 \cdot 630 = -418,8 \text{ кВАр}.$$

$Q_{нк2} < 0$, додаткове встановлення НБК не передбачено.

Сумарна розрахункова потужність НБК:

$$Q_{нкф} = 600 + 0 = 600 \text{ кВАр}.$$

					ЛНТУ.971101.000 ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Попередньо вибираємо такі варіанти встановлення трансформаторів ТП:

I варіант – трансформатор типу ТМ-400/10;

II варіант – трансформатор типу ТМ-630/10;

III варіант - трансформатор типу ТМ-1000/10.

Результати розрахунків зведемо в таблицю 2.7.

Таблиця 2.7 – Вибір потужності трансформаторів

Параметр	I варіант	II варіант	III варіант
S_T , кВА	400	630	1000
$N_{\min}$	3,07	1,95	1,23
N_T	3	2	2
$Q_{\max T}$, кВАр	819,23	220,93	1262,04
$Q_{нк1}$, кВАр	-8,01	590,29	-450,82
$Q_{нк1}^{ККУ}$	-	ККУ-0,4-300/10-25-21У3	-
$Q_{нк1}^{ККУ}$, кВАр	0	600	0
$Q_{нк2}$, кВАр			
$Q_{нк2}^{ККУ}$, кВАр	0	0	0
$Q_{нкф}$, кВАр	0	600	0
$K_{зТф}$	-4,78	-418,78	-188,78
ΔP_{xx} , кВт	1,45	2,27	3,3
$\Delta P_{xx\Sigma}$, кВт	4,35	4,54	3,3
$\Delta P_{кз}$, кВт	5,5	7,6	11,6
ΔP_m , кВт	13,97	9,69	9,43
$B_{ет}$, т.грн / рік	236,036	172,214	203,45
K_T , т.грн	1032	670	950
$З_T$, т.грн / рік	566,276	386,614	507,45
$З_{кку}$, т.грн / рік	0	92,18	0
$З_\Sigma$, т.грн / рік	566,276	478,794	507,45

За результатами розрахунків приймаємо до встановлення двотрансформаторну підстанцію з трансформаторами типу ТМ-630/10.

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.

Реактивне навантаження підприємства в години максимуму активного навантаження енергосистеми:

$$Q_{M1} = 0,9 \cdot 811,22 = 730,1 \text{ кВАр.}$$

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

$$Q_{e.max} = 280 \text{ кВАр.}$$

Потужність конденсаторних установок:

$$Q_{к1} = 730,1 - 280 = 450,1 \text{ кВАр.}$$

Нескомпенсована потужність в мережі високої напруги:

$$Q_{nc} = 730,1 - 600 + 70 = 281,22 \text{ кВАр}$$

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

$$Q_{ВБК} = 0,9 \cdot 811,22 + 70 - 600 - 280 = - 79,9 \text{ кВАр.}$$

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

					ЛНТУ.971101.000 ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.6. Визначення електричних навантажень на вищих рівнях СЕП

Розрахункове навантаження на шинах високої напруги ТП визначено згідно методики [1, 2], порядок застосування якої наведено в додатку А.

Навантаження на шинах низької напруги ТП згідно таблиці 2.6:

$$P_{p3} = 983,49 \text{ кВт}; Q_{p3} = 811,22 \text{ кВАр}; S_{p3} = 1274,89 \text{ кВА}.$$

Потужність низьковольтних компенсуючих пристроїв на шинах 0,4 кВ ТП:

$$Q_{нкф} = 600 \text{ кВАр}.$$

Дійсний коефіцієнт завантаження трансформатора:

$$K_{зТ} = \frac{\sqrt{973,48^2 + (811,22 - 600)^2}}{2 \cdot 630} = 0,8.$$

Для трансформатора типу ТМ-630/10:

$$\Delta P_{кз} = 7,6 \text{ кВт}; \quad \Delta P_{хх} = 2,27 \text{ кВт}.$$

Втрати активної потужності в одному трансформаторі:

$$\Delta P_T = 0,8^2 \cdot 7,6 + 2,27 = 7,11 \text{ кВт}.$$

Розрахункова потужність на шинах 10 кВ трансформаторної підстанції:

$$S_{p4} = \sqrt{(973,48 + 14,22)^2 + 280^2} = \sqrt{997,72^2 + 280^2} = 1036,59 \text{ кВА}.$$

					ЛНТУ.971101.000 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.7. Розрахунок мережі зовнішнього електропостачання

2.7.1. Вибір джерела та напруги живлення

На відстані 1,1 км від території підприємства розміщена районна підстанція 110/10 кВ, на якій є резервна комірка на шинах напруги 10 кВ.

Як джерело живлення підприємства вибираємо РПС.

За напругу живлення приймаємо напругу 10 кВ.

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:

$$I_p = \frac{1036,59}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot 10} = 28,49 \text{ А.}$$

Попередньо вибрано кабель марки ААБл-10 перерізом (3х35) мм², для якого $I_{дон} = 115 \text{ А}$; $r_0 = 0,89 \text{ Ом/км}$; $x_0 = 0,095 \text{ Ом/км}$.

Приймаємо $k_1 = 1,08$; $k_2 = 0,91$.

Перевіримо вибраний переріз за нагрівом струмом нормального режиму:

$$28,49 \text{ А} < 1,08 \cdot 0,91 \cdot 115 = 113,02 \text{ А.}$$

Перевіримо вибраний переріз на нагрів струмом післяаварійного режиму

$$2 \cdot 28,49 = 56,98 \text{ А} < 1,08 \cdot 1,35 \cdot 115 = 167,67 \text{ А.}$$

Вибраний переріз задовольняє умови перевірки по нагріву розрахунковими струмами нормального і післяаварійного режимів.

					ЛНТУ.971101.000 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Втрати напруги в лінії :

$$\Delta U = \frac{997,72 \cdot 0,89 \cdot 1,1 + 280 \cdot 0,095 \cdot 1,1}{10 \cdot 10^2} = 0,91\% < \Delta U_{\text{дон}} = 5\%$$

Втрати напруги не перевищують допустимого значення.

Для вибору оптимального перерізу КЛ-10 кВ проведено техніко-економічне порівняння варіантів. До розгляду прийнято кілька перерізів кабелів. Критерієм техніко-економічної доцільності відповідного перерізу кабельної лінії є мінімум приведених затрат. Результати розрахунків для порівняння різних перерізів зведено в таблицю 2.8.

Таблиця 2.8 - Вибір економічно доцільного перерізу ЛЕП

F_T , мм ²	$I_{\text{т.дон}}$, А	K_z	r_0 , Ом/км	ΔP_ϕ , кВт	B_e , т.грн/рік	K , т.грн/рік	z_Σ , т.грн/рік
35	113,022	0,25	0,89	2,384	940,5	230,92	940,5
50	137,592	0,21	0,62	1,661	1017,5	240,58	1017,5
70	157,248	0,18	0,443	1,187	1155,0	266,05	1155,0

Приймаємо до встановлення КЛ-10 кВ типу ААБл-10 перерізом (3х35) мм², переріз якого відповідає умовам нагріву струмами нормального та післяаварійного режимів та мінімуму приведених затрат.

2.8. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі 10 кВ

Розрахунок струмів короткого замикання виконуємо згідно методики [2], порядок застосування якої наведено в додатку А.

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

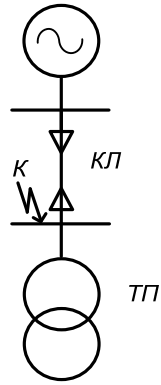


Рисунок 2.1 - Розрахункова схема короткозамкненого кола

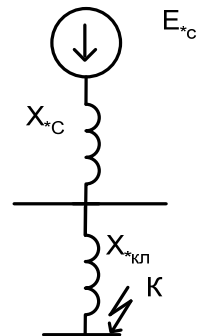


Рисунок 2.2 – Схема заміщення короткозамкненого кола

Зведення параметрів елементів короткозамкненого кола виконуємо у відносних одиницях з використанням наближених коефіцієнтів трансформації трансформаторів [2].

Базова напруга: $U_{осн} = U_{сер} = 10,5 \text{ кВ}$. Базова потужність: $S_{\delta} = 100 \text{ МВА}$.

Потужність КЗ на шинах джерела живлення $S''_{кз} = 95 \text{ МВА}$.

ЕРС системи, зведена до базових умов:

$$E_{с*б}^0 = 1$$

Реактивний опір системи, зведений до базових умов:

$$x_{с*б}^0 = \frac{100}{95} = 1,053.$$

Опір лінії, зведений до базових умов:

$$x_{л*б}^0 = 0,095 \cdot 1,1 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,095.$$

Результуючий опір короткозамкненого кола:

$$X_{\Sigma КЗ}^0 = x_{с*б}^0 + x_{л*б}^0 = 1,053 + 0,095 = 1,147.$$

Базисний струм:

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

Струм короткого замикання на шинах 10 кВ трансформаторної підстанції:

$$I_{КЗ}^{(3)} = \frac{1}{1,147} \cdot 5,5 = 3,65 \text{ кА.}$$

Ударний струм:

$$i_y = 1,37 \cdot \sqrt{2} \cdot 3,65 = 7,06 \text{ кА.}$$

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

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

Приведений час визначається сумуванням аперіодичної і періодичної, складових струму короткого замикання:

					ЛНТУ.971101.000 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

$$F_{\min} = \frac{3650}{90} \sqrt{0,25} = 20,25 \text{ мм}^2.$$

Вибраний переріз КЛ-10 задовольняє умови термічної стійкості.

2.10. Вибір обладнання на напругу 10 кВ

Вибір обладнання виконуємо згідно методики, наведеної в додатку А.

2.10.1 Вибір роз'єднувачів

Приймаємо роз'єднувачі типу РВПЗ – 10/400 УЗ ТОВ СУПП «Екватор» [6],
для якого: $U_{ном} = 10 \text{ кВ}$; $I_{ном} = 400 \text{ А}$; $i_{дин} = 41 \text{ кА}$; $I_{терм} = 16 \text{ кА}$; $t_{терм} = 4 \text{ с}$.

Номінальна напруга роз'єднувача:

$$10 \text{ кВ} = 10 \text{ кВ}.$$

Номінальний струм роз'єднувача:

$$400 \text{ А} > 56,98 \text{ А}.$$

Для забезпечення динамічної стійкості роз'єднувача струмам КЗ:

$$41 \text{ кА} > 7,06 \text{ кА}.$$

Для забезпечення термічної стійкості роз'єднувача струмам КЗ:

					ЛНТУ.971101.000 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$16^2 \cdot 4 = 1024 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > 3,65^2 \cdot 0,25 = 3,32 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Вибрані роз'єднувачі задовольняють умови перевірки.

Приймаємо до встановлення роз'єднувач РВПЗ - 10/400 УЗ.

2.10.2. Вибір вимикачів навантаження для трансформаторів

З боку високої напруги трансформатора в ТП передбачаємо встановлення камер одностороннього обслуговування типу КСО-393-04061 ТОВ СУПП «Екватор» [6] з вимикачем навантаження типу ВНВ в комплекті з запобіжником.

Попередньо приймаємо до встановлення на трансформаторній підстанції вимикачі навантаження типу ВНВ-10/630-16-зп-УЗ (ТОВ СУПП «Екватор») [6], для яких: $U_{ном} = 10 \text{ кВ}$; $I_{ном} = 630 \text{ А}$; $i_{дин} = 50 \text{ кА}$; $I_{терм} = 16 \text{ кА}$; $t_{терм} = 1 \text{ с}$.

Попередньо приймаємо до встановлення запобіжники типу ПКТ103-10-80-20 УЗ, для яких: $I_{ном.а} = 80 \text{ А}$; $I_{ном.вимкн.а} = 20 \text{ кА}$.

Номінальна напруга вимикача навантаження:

$$10 \text{ кВ} = 10 \text{ кВ}.$$

Номінальний струм вимикача навантаження:

$$630 \text{ А} > 56,98 \text{ А}.$$

Номінальний струм запобіжника:

$$80 \text{ А} > 56,98 \text{ А}.$$

Для забезпечення динамічної стійкості вимикача навантаження струмам КЗ:

$$50 \text{ кА} > 7,06 \text{ кА}.$$

					ЛНТУ.971101.000 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для забезпечення термічної стійкості вимикача навантаження струмам КЗ:

$$16^2 \cdot 1 = 256 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > 3,65^2 \cdot 0,25 = 3,32 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Номінальний струм вимкнення запобіжника :

$$20 \text{ кА} > 3,65 \text{ кА}.$$

Приймаємо до встановлення вимикач навантаження типу ВНВ-10/630-16-зп-УЗ з запобіжником типу ПКТ101-10-31,5-12,5 УЗ.

Зі сторони КЛ встановлюємо вимикачі навантаження типу ВНВ-10/630-16-з-УЗ, для яких: $U_{ном} = 10 \text{ кВ}$; $I_{ном} = 630 \text{ А}$; $i_{дин} = 50 \text{ кА}$; $I_{терм} = 16 \text{ кА}$; $t_{терм} = 1 \text{ с}$.

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 Елвін ET2A5E7ULRT СП ЗАТ «ЕЛВІН» [7], 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 ЦА 20204-3 ПАТ “Уманський завод “Мегомметр” [8].

На кожній секції шин для контролю електричної енергії встановлено вольтметри класу точності 0,5 типу ЦВ0303-2 [8].

					ЛНТУ.971101.000 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.10.4. Вибір трансформаторів струму на шинах джерела живлення

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

Вибираємо трансформатор струму з двома магнітопроводами та двома вторинними обмотками: клас точності 0,5 – для кіл релейного захисту.

Попередньо в комірці джерела живлення приймаємо трансформатор струму типу ТПЛ-10 УЗ ТОВ ВКФ "Електросервіс" [9], для якого: $U_{ном} = 10$ кВ;

$$I_{1ном} = 100 \text{ А}; \quad I_{2ном} = 5 \text{ А}; \quad Z_{2ном} = 0,4 \text{ Ом}; \quad S_{2ном} = 10 \text{ ВА}; \quad i_{дин} = 51 \text{ кА};$$

$$I_{терм} = 5,5 \text{ кА}; \quad t_{терм} = 1 \text{ с}.$$

У вторинному колі трансформатора струму встановлений амперметр, лічильник активної та реактивної енергії.

Навантаження вторинного кола ТС розрахуємо в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Навантаження вторинного кола трансформатора струму

Прилад	Тип	Навантаження фази, ВА		
Амперметр	ЦА 20204-3	0,5	0,5	0,5
Лічильник	Елвін ET2A5E7ULRT	0,05	0,05	0,05
Разом		0,55	0,55	0,55

Перевірка попередньо вибраного трансформатора струму на дотримання технічних умов зведена в таблицю 2.10.

Таблиця 2.10 – Вибір трансформаторів струму

Умова вибору	Перевірка виконання умови вибору
$U_n \geq U_{уст}$	10 кВ = 10 кВ
$I_{1ном} > I_{р. max}$	100 А > 56,98 А
$i_{дин} > i_{уд}$	51 кА > 7,06 кА
$(I_{терм})^2 t_{нтерм} > B_k$	$5,5^2 \cdot 1 = 30,25 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > 3,65^2 \cdot 0,25 = 3,32 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
$S_{2н} > S_2$	10 ВА > 0,55 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:

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

Для приєднання приладів до трансформаторів струму використано кабель АКВВГ з жилами перерізом 4 мм².

Опір проводу з врахуванням вибраного перерізу:

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

де $q_{ст} = 4 \text{ мм}^2$, значення перерізу вибраного проводу.

Значення номінального навантаження вторинної обмотки Т:

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

$$0,132 \text{ Ом} < 0,4 \text{ Ом.}$$

Вибраний трансформатор струму задовольняє всі умови.

2.11. Проектування внутрішньозаводського електропостачання

2.11.1. Вибір схеми низьковольтної мережі

Розподіл електричної енергії до груп споживачів цехів здійснюється через розподільчі пристрої 0,4 кВ цехів.

Живлення розподільчих пристроїв цехів здійснюється кабельними лініями, прокладеними в землі. Для розподілу електричної енергії від ТП до розподільчих пунктів цехів прийнято радіальну схему.

					ЛНТУ.971101.000 ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.11.2. Вибір ввідних розподільчих пристроїв

Вибір розподільчих пристроїв виконано за розрахунковим струмом корпусу або цеху з урахуванням методики [10], наведеної в додатку А.

Прийнято до встановлення розподільчі пристрої серії ПР-11 Української електротехнічної корпорації «АСКОУКРЕМ» [11] з ввідними автоматичними вимикачами та автоматичними вимикачами на лініях, що відходять від шин РП, серії ВА2004.

Результати розрахунку наведено в таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Вибір ввідних розподільчих пристроїв

Найменування об'єкту	S_p , кВА	К-сть	$I_{p.n.}$, А	$I_{p.n.max}$, А	Тип	$I_{ном.п.}$, А	К-сть фідерів	Позначення
Головний виробничий корпус	464,98	4	167,79	335,57	ПР11-7124-21У3	630	10	ПР1,ПР2, ПР3,ПР4
Цех лако-фарбових матеріалів	156,37	2	112,85	225,70	ПР11-7120-21У3	400	6	ПР5,ПР6
Цех сухих матеріалів	129,91	2	93,76	187,52	ПР11-7124-21У3	400	10	ПР7,ПР8
Цех плитки	153,26	2	110,6	221,21	ПР11-7124-21У3	400	10	ПР9,ПР10
Цех металоконструкцій	96,59	2	69,7	139,41	ПР11-7124А-21У3	250	12	ПР11,ПР12
Виробничий корпус №3	154,11	2	111,22	222,43	ПР11-7124-21У3	400	10	ПР13,ПР14
Ремонтно-механічний цех	74,73	2	53,93	107,87	ПР11-7124А-21У3	250	12	ПР15,ПР16
Будівля адміністрації	34,83	1	50,28	50,28	ПР11-7124А-21У3	250	12	ПР17

2.11.3. Вибір перерізу КЛ низьковольтної мережі електропостачання

Переріз кабельних ліній, що живлять розподільчі пункти цехів, вибираємо за нагрівом струмами нормального та післяаварійного режимів згідно методики, наведеної в додатку А.

Для живлення ПР вибираємо кабель типу ВВБШв-1 з мідними жилами, ізоляцією та оболонкою з полівінілхлоридного пластикату та бронею з двох сталевих стрічок. Результати розрахунку зведемо в таблицю 2.12.

Таблиця 2.12 – Вибір перерізів кабельних ліній напругою 0,4 кВ

Лінія	S_p , кВА	I_p , А	F_T , мм ²	$I_{т.доп}$, А	$I_{н/ав}$, А	$I_{д.н/ав}$, А	l , км	r_0 , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	x_0 , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	ΔU , %
ТП-ПР1(ПР2)	232,49	167,79	70	270,27	335,57	400,95	0,12	0,265	0,0612	4,33
ТП-ПР3(ПР4)	232,49	167,79	70	270,27	335,57	400,95	0,09	0,265	0,0612	3,25
ТП-ПР5(ПР6)	156,37	112,85	35	176,90	225,70	262,44	0,065	0,53	0,0637	2,89
ТП-ПР7(ПР8)	129,91	93,76	35	176,90	187,52	262,44	0,05	0,53	0,0637	1,74
ТП-ПР9(ПР10)	188,08	135,73	50	221,13	271,47	328,05	0,115	0,37	0,0625	4,37
ТП-ПР11(ПР12)	96,59	69,70	35	176,90	139,41	262,44	0,165	0,53	0,0637	4,26
ТП-ПР13(ПР14)	154,11	111,22	50	221,13	222,43	328,05	0,08	0,37	0,0625	2,46
ТП-ПР15(ПР16)	74,73	53,93	25	147,42	107,87	218,70	0,175	0,74	0,0662	4,74
ПР9-ПР17	34,83	50,28	10	88,45	50,28	131,22	0,06	1,84	0,073	1,94

2.12. Розрахунок струмів КЗ в мережі до 1 кВ

Мережі напругою до 1 кВ характеризуються значною розгалуженістю.

В мережах напругою до 1 кВ істотний вплив на величину струму короткого замикання мають активні та індуктивні опори кабелів, проводів, шинопроводів і контактних з'єднань. На відміну від розрахунку струму КЗ в мережах напругою вище 1 кВ, в мережах напругою до 1 кВ обов'язковим є врахування активного опору елементів.

Розрахунок струмів короткого замикання на шинах 0,4 кВ ТП, на шинах розподільчих пристрів, що живляться від ТП, виконано згідно методики [2], 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.

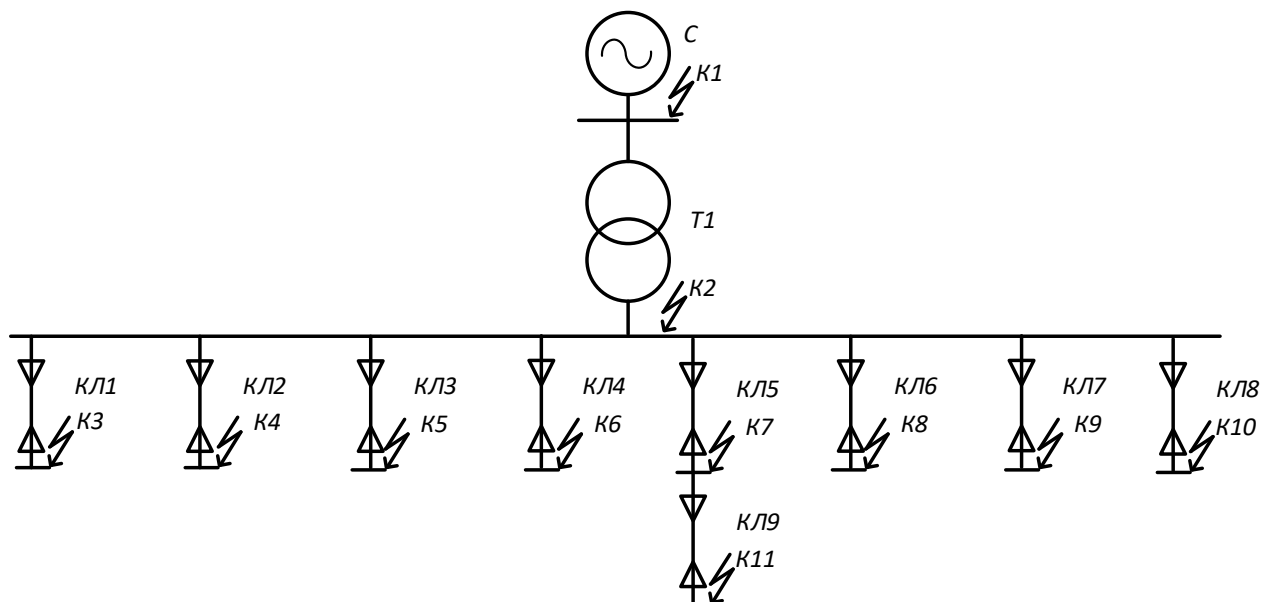


Рисунок 2.3 - Розрахункова схема короткозамкненого кола

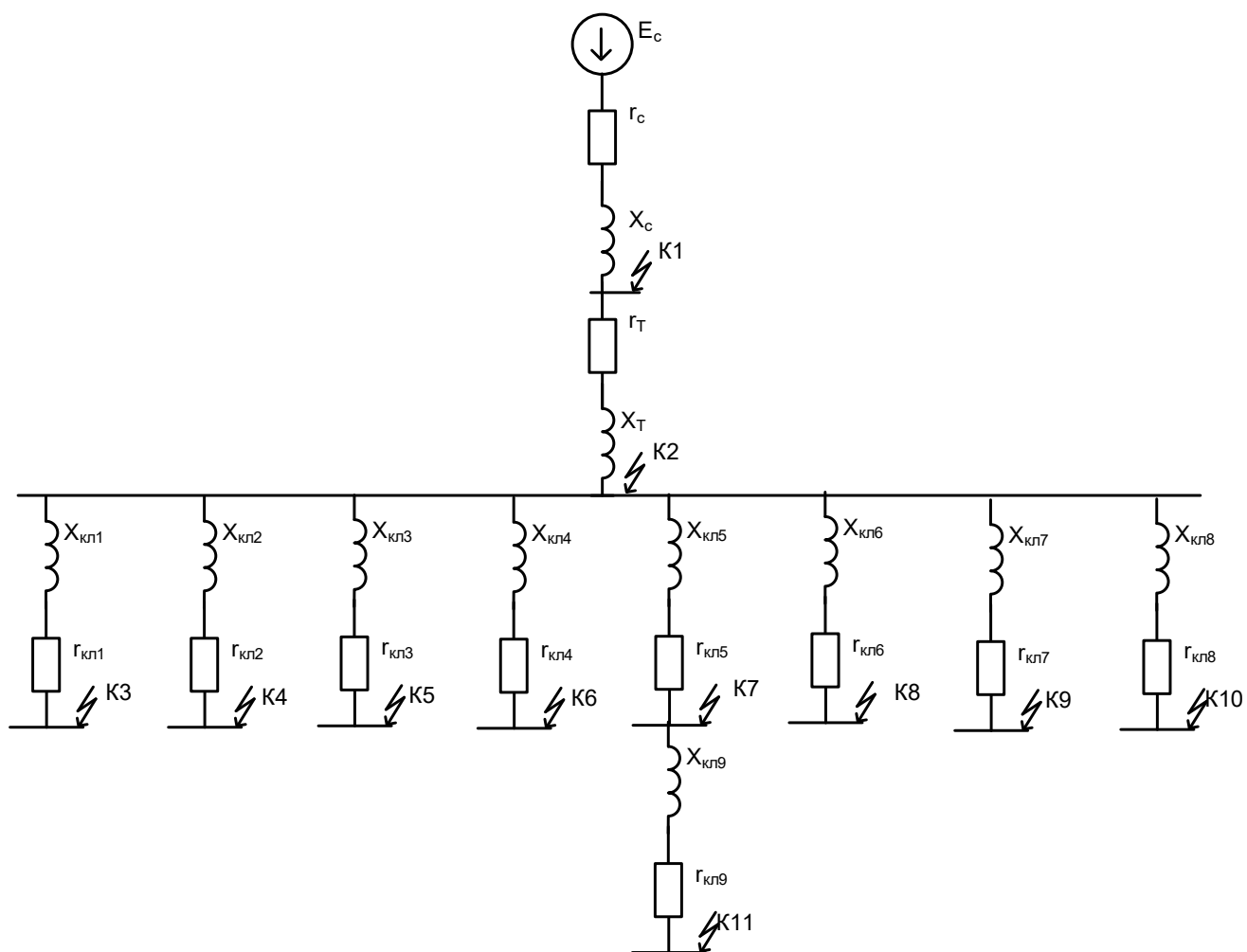


Рисунок 2.4 - Схема заміщення короткозамкненого кола

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

Опір системи:

$$x_c = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 3,65} = 1,663 \text{ Ом},$$

$$r_c = 0,89 \cdot 1,1 = 0,979 \text{ Ом}.$$

Опір системи зведений до базисних умов:

$$x_c^0 = 1,663 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 2,413 \text{ мОм}.$$

$$r_c^0 = 0,979 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 1,421 \text{ мОм}.$$

Опір трансформатора, зведений до базових умов:

$$x_{mp}^0 = \sqrt{\left(\frac{5,5}{100} \right)^2 - \left(\frac{0,0076}{0,63} \right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{0,63} = 13,628 \text{ мОм};$$

$$r_{mp}^0 = \frac{0,0076}{0,63} \cdot \frac{0,4^2}{0,63} = 3,064 \text{ мОм}.$$

Опір короткозамкненого кола до точки К2 (враховуємо $r_{доо} = 15 \text{ мОм}$).

$$x_{рез} = x_c + x_{тр} = 2,413 + 13,628 = 16,041 \text{ мОм};$$

$$r_{рез} = r_c + r_{тр} + r_{доо} = 1,421 + 3,064 + 15 = 19,485 \text{ мОм}.$$

					ЛНТУ.971101.000 ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Z_{рез} = \sqrt{16,041^2 + 19,485^2} = 25,238 \text{ мОм} .$$

Струм короткого замикання:

$$I''_{кз} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 25,238} = 9,15 \text{ кА} .$$

Враховуючи, що $T = \frac{x}{r} = \frac{16,041}{19,485} = 0,82$, приймаємо: $k_y = 1,03$.

Ударний струм :

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,03 \cdot 9,15 = 13,33 \text{ кА}$$

Розрахунок струму в інших точках виконуємо аналогічно.

Результати розрахунку активного та реактивного опорів ліній, зведених до базових умов, наведено в таблиці 2.13.

Результати розрахунку зведено в таблицю 2.14.

Таблиця 2.13 - Опори ліній, зведені до базових умов

Лінія	l , км	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	r_l^0 , мОм	x_l^0 , мОм
ТП-ПР1(ПР2)	0,12	0,265	0,0612	31,8	7,344
ТП-ПР3(ПР4)	0,09	0,265	0,0612	23,85	5,508
ТП-ПР5(ПР6)	0,065	0,53	0,0637	41,54	4,188
ТП-ПР7(ПР8)	0,05	0,53	0,0637	26,5	3,185
ТП-ПР9(ПР10)	0,115	0,37	0,0625	42,55	7,188
ТП-ПР11(ПР12)	0,165	0,53	0,0637	87,45	10,511
ТП-ПР13(ПР14)	0,08	0,37	0,0625	29,6	5,0
ТП-ПР15(ПР16)	0,175	0,74	0,0662	129,5	11,585
ПР9-ПР17	0,06	1,84	0,073	110,4	4,38

Таблиця 2.14 - 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	16,041	15	19,485	25,238	9,15	1,03	13,33
К3	23,39	20	56,28	60,95	3,79	1	5,36
К4	21,55	20	48,33	52,92	4,36	1	6,17
К5	20,23	20	66,02	69,05	3,34	1	4,73
К6	19,23	20	50,98	54,49	4,24	1	5,99
К7	23,23	20	67,03	70,95	3,26	1	4,60
К8	26,55	20	111,93	115,04	2,01	1	2,84
К9	21,04	20	54,08	58,03	3,98	1	5,63
К10	27,63	20	153,98	156,44	1,48	1	2,09
К11	27,61	25	182,43	184,51	1,25	1	1,77

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-09 ТОВ ВТП «Бутон» [12] з автоматичними вимикачами ТМ «Електро» [13]. В ввідній панелі та на приєднаннях лінійних панелей встановлено трансформатори струму для приєднання кіл вимірювальних приладів.

Результати вибору зводимо в таблицю 2.15.

Таблиця 2.15 – Вибір комірок розподільчого пристрою 0,4 кВ ТП

Назва панелі	I_p , А	Тип панелі	Комутаційний апарат	$I_{ном}$, А	Кількість панелей
Ввідна	1451,92	ЩО09-2109АУЗ	РЕ 19-44 ВА77-1-2000	2000 2000	2
Секційна	725,96	ЩО09-2302 УЗ	2хРЕ 19-41 ВА77-1-1000	1000 1000	1
Лінійна	239,4	ЩО09-2418 УЗ	1хРЕ 19-41 2хВА77-1-630	1000 630	2
Лінійна	173,72	ЩО09-2424 УЗ	2хРЕ 19-41 2хВА77-1-400 2хВА77-1-250	1000 400 250	4

2.13.2. Вибір автоматичних вимикачів

Номінальний струм автоматичного вимикача вибираємо за розрахунковим струмом з урахуванням не спрацювання при короткочасних перевантаженнях.

Результати вибору та перевірки автоматичних вимикачів, встановлених в РУ-0,4 кВ ТП зведено в таблицю 2.16.

Таблиця 2.16 – Вибір автоматичних вимикачів РУ-0,4 кВ ТП

Місце встановлення	$I_{р.утяж},$ А	$1,25 \cdot I_{р.утяж},$ А	$I_n,$ кА	Тип вимикача	$I_{ном},$ А	$I_{ном.розч},$ кА	$I_{відкл},$ кА
Ввід до ТП1	1451,92	1814,90	9,15	ВА77-1-2000	2000	2000	42,5
ТП-ПР1(ПР2)	335,57	419,47	3,79	ВА77-1-630	630	500	35
ТП-ПР3(ПР4)	335,57	419,47	4,36	ВА77-1-630	630	500	35
ТП-ПР5(ПР6)	225,70	282,12	3,34	ВА77-1-400	400	315	35
ТП-ПР7(ПР8)	187,52	234,39	4,24	ВА77-1-250	250	250	22
ТП-ПР9(ПР10)	271,47	339,34	3,26	ВА77-1-400	400	400	35
ТП-ПР11(ПР12)	139,41	174,26	2,01	ВА77-1-250	250	200	22
ТП-ПР13(ПР14)	222,43	278,04	3,98	ВА77-1-400	400	315	35
ТП-ПР15(ПР16)	107,87	134,84	1,48	ВА77-1-250	250	160	22

Результати вибору вимикачів, встановлених в ввідних цехових розподільчих пристроях, зведено в таблицю 2.17.

Таблиця 2.17 – Вибір автоматичних вимикачів розподільчих пунктів

Місце встановлення	$I_{р.утяж},$ А	$1,25 \cdot I_{р.утяж},$ А	$I_n,$ кА	Тип вимикача	$I_{ном},$ А	$I_{ном.розч},$ кА	$I_{відкл},$ кА
ПР1,ПР2	335,57	419,47	3,79	ВА2004/630	630	630	50
ПР3,ПР4	335,57	419,47	4,36	ВА2004/630	630	630	50
ПР5,ПР6	225,70	282,12	3,34	ВА2004/400	400	300	35
ПР7,ПР8	187,52	234,39	4,24	ВА2004/250	250	250	35
ПР9,ПР10	271,47	339,34	3,26	ВА2004/400	400	350	35
ПР11,ПР12	139,41	174,26	2,01	ВА2004/250	250	200	35
ПР13,ПР14	222,43	278,04	3,98	ВА2004/400	400	300	35
ПР15,ПР16	107,87	134,84	1,48	ВА2004/250	250	150	35
ПР17	50,28	62,85	1,25	ВА2004/100	100	75	35

2.13.3. Вибір рубильників

В панелях ТП прийнято до встановлення рубильник серії РЕ19.

Перевірка вибраних рубильників на дотримання технічних умов зведена в таблицю 2.18.

Таблиця 2.18 – Вибір рубильників

Тип	$U_n \geq U_{уст}$	$I_{ном} > I_{р.утяж}$	$i_{дин} \geq i_y$
РЕ 19-44	10 кВ = 10 кВ	2000А > 1452 А	100 кА > 13,33 кА
РЕ 19-41	10 кВ = 10 кВ	1000А > 2 · 335,57 = 671,14 А	100 кА > 6,17 кА

Вибрані рубильники задовольняють всі умови.

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 ЦА 20204-3 Уманського заводу вимірювальних приладів «Мегометр» [8], лічильники активної та реактивної енергії типу Елвін ЕТ 3В5Е8ULZТ виробництва СП ЗАТ «ЕЛВІН» [7] 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 трансформаторів струму здійснюємо за номінальним струмом і напругою, за напругою вторинного кола і перевіряємо за динамічною та термічною стійкістю до струмів короткого замикання.

Розрахунок навантаження вторинного кола трансформатора струму зведено в таблицю 2.19.

					ЛНТУ.971101.000 ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.19 – Навантаження вторинного кола трансформатора струму

Прилад	Тип	Навантаження фази, ВА		
Амперметр	ЦА 20204-3	0,5	0,5	0,5
Лічильник енергії	Елвін ЕТ 3В5Е8ULZТ	0,05	0,05	0,05
Всього		0,55	0,55	0,55

Попередньо приймаємо ТС ПАТ “Уманський завод “Мегомметр” [8]:

- на вводі в РП-0,4 кВ - ТС типу Т-066-2, для якого: $U_{ном} = 660$ В;

$I_{1ном} = 2000$ А; $I_{2ном} = 5$ А; $Z_{2ном} = 0,4$ Ом; $S_{2ном} = 10$ ВА; $i_{дин} = 51$ 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; $I_{1ном} = 400$ 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 ТС зведена в таблицю 2.20.

Таблиця 2.20 –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
$U_{уст}$, кВ	0,4	0,4	$U_{ном}$, кВ	0,66	0,66
$I_{утяг}$, А	1451,92	335,57	$I_{1ном}$, А	2000	400
			$I_{2ном}$, А	5	5
$I_{п.0}$, кА	9,15	4,36			
$i_{уд}$, кА	13,33	6,17	$i_{дин}$, кА	51	40
B_k , $кА^2 \cdot с$	20,9	4,76	$I_{терм}^2 \cdot t_{терм}$, $кА^2 \cdot с$	$10^2 \cdot 1 = 100$	$10^2 \cdot 1 = 100$
S_2 , ВА	0,55	0,55	$S_{2ном}$, ВА	10	10

Опір приладів приєднаних до трансформатора струму:

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

					ЛНТУ.971101.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Для приєднання приладів до ТС використано кабель АКВВГ з жилами перерізом 4 мм².

Опір проводу:

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

Навантаження вторинної обмотки ТС:

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

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

Вибраний трансформатор струму задовольняє всі умови.

2.14. Розрахунок цехового електропостачання

2.14.1. Вибір схеми цехової мережі

Цехові розподільчі мережі повинні забезпечувати необхідну надійність електропостачання приймачів електроенергії в залежності від категорії; мати оптимальні техніко-економічні показники; мати таке конструктивне виконання, яке б забезпечило використання індустріальних і швидкісних методів монтажу.

Живлення низьковольтних споживачів цеху лако-фарбових матеріалів виконуємо від двох ввідних розподільчих пристроїв ПР5, ПР6 типу ПР11-7120-21УЗ з ввідним вимикачем ВА2004 ($I_{ном}=400 \text{ А}$) і лінійними вимикачем ВА2004 ($I_{ном}=60 \text{ А}$).

Розподільчі пункти заживлено від шин 0,4 кВ трансформаторної підстанції кабельними лініями типу ВВБбШв-1 перерізом (4x35) мм², які прокладено в землі в траншеї.

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

					ЛНТУ.971101.000 ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Цехові розподільчі пристрої груп заживлено від ввідних розподільчих пристроїв за допомогою окремих кабельних ліній по радіальній схемі.

2.14.2. Розрахунок цехової мережі живлення

Споживачами електроенергії є насоси, млини, мішалки, кран-балка, вентиляційні установки, які розраховані на змінний трифазний струм і напругу 400 В.

Згідно таблиці 2.1 даного дипломного проєкту навантаження по кожній групі споживачів цеху лако-фарбових матеріалів складає:

$$\begin{aligned} P_{p1} &= 38,28 \text{ кВт}; & P_{p2} &= 84,78 \text{ кВт}; & P_{p3} &= 9,69 \text{ кВт} \\ Q_{p1} &= 32,34 \text{ кВАр}; & Q_{p2} &= 52,99 \text{ кВАр}; & Q_{p3} &= 7,64 \text{ кВАр} \\ S_{p1} &= 50,11 \text{ кВА}; & S_{p2} &= 99,98 \text{ кВА}; & S_{p3} &= 12,34 \text{ кВА}. \end{aligned}$$

Кількість електроприймачів груп: $n_1 = 7$ шт.; $n_2 = 9$ шт.; $n_3 = 5$ шт.

Вибір розподільчих пристроїв здійснюємо за розрахунковим струмом груп електроприймачів. Прийнято до встановлення розподільчі пристрої серії ПР-11 Української електротехнічної корпорації «АСКОУКРЕМ» [11] з ввідними автоматичними вимикачами та автоматичними вимикачами на лініях, що відходять від шин РП, серії ВА2004.

Результати розрахунку зводимо в таблицю 2.21.

Таблиця 2.21 – Вибір розподільчих пристроїв цеху

Назва об'єкту	S_p , кВА	I_p , А	К-сть ЕП	Тип	К-сть ПР	$I_{p.л.}$, А	$I_{ном.л.}$, А	К-сть фідерів	Позначення
Група I	50,11	72,33	7	ПР11-3078-21У3	2	36,17	250	10	ЦПР1, ЦПР2
Група II	99,98	144,31	9	ПР11-3078-21У3	2	72,16	250	10	ЦПР3, ЦПР4
Група III	12,34	17,81	5	ПР11-3068-21У3	2	8,9	250	8	ЦПР5, ЦПР6
Освітлення	16,5	25,07	-	ЩО-12	1	25,07	63	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 2.22.

Таблиця 2.22- Вибір перерізів кабелів

Лінія	S_p , кВА	I_p , А	F_T , мм ²	$I_{дон}$, А	$I_{м.дон}$, А	$I_{n/ав}$, А	$I_{д.п/ав}$, А
ПР5 (ПР6)- ЦПР1(ЦПР2)	50,11	36,16	16	75	73,71	72,33	109,35
ПР5 (ПР6)- ЦПР3(ЦПР4)	99,98	72,15	35	120	117,94	144,31	174,96
ПР5 (ПР6)- ЦПР5(ЦПР6)	12,34	8,91	4	35	34,40	17,81	51,03
ПР5 -ЦО	16,5	23,82	4	35	34,40	23,82	51,03

Живлення технологічних споживачів цеху лако-фарбових матеріалів виконуємо кабелем ВВГ-1, прокладеним в підлозі в металорукавах .

Результати вибору перерізів ліній зведено в таблицю 2.21.

Таблиця 2.21 - Вибір січень ліній живлення електроприймачів

Назва об'єкту	$P_{ном}$, кВт	$\cos \varphi$	I_p , А	F , мм ²	$I_{дон}$, А
Кран	7,5	0,45	24,06	4x4	35
Млин	15,5	0,6	37,29	4x6	42
Кран	10,5	0,45	19,25	4x2,5	25
Мішалка	12,5	0,6	13,23	4x2,5	25
Насос	5,5	0,75	10,58	4x2,5	25
Змішувач-ректор	58,5	0,85	49,67	4x10	55
Водонагрівач	15	0,95	22,79	4x4	35
Вентиляційна установка	3,5	0,8	6,31	4x2,5	25
Припливна вентиляційна установка	2,2	0,75	4,23	4x2,5	25

2.14.3. Розрахунок освітлювальної установки цеху

Розрахунок освітлювальної установки проведемо методом коефіцієнта використання [10], методику застосування якого наведено в додатку А.

Нормована освітленість приміщення $E_{min} = 200$ лк. Висота приміщення цеху $h = 6$ м; висота розрахункової поверхні над підлогою $h_p = 0,8$ м; висота підвісу світильника $h_c = 0,2$ м. Стіни і стеля оштукатурені, побілені. Коефіцієнти відбиття: стін - $\rho_{cm} = 55\%$, стелі - $\rho_c = 70\%$, підлоги - $\rho_n = 30\%$.

Розрахункова висота світильника:

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

Індекс приміщення:

$$i = \frac{30 \cdot 48}{5 \cdot (30 + 48)} = 3,69.$$

Для загального рівномірного освітлення попередньо приймаємо світлодіодний промисловий світильник серії VS-UFO ТОВ "LEDSTER™" [14] на світлодіодах PHILIPS LEDs

Коефіцієнт використання η , що враховує співвідношення розмірів приміщення і залежить від типу світильника, коефіцієнтів відбиття стін, стелі, робочої поверхні та від показника приміщення, приймаємо рівним: $\eta = 0,8$.

Світловий потік для забезпечення необхідної освітленості в приміщенні:

$$\Phi_p = \frac{200 \cdot 1,3 \cdot (30 \cdot 48) \cdot 1,15}{0,8} = 538200 \text{ лм.}$$

Прийнято до встановлення світлодіодний промисловий світильник серії VS-UFO-P-50W з світлодіодною лампою потужністю $P_{вст} = 50$ Вт та світловим потоком $\Phi_{л} = 9000$ лм та КСС типу Г (глибока).

					ЛНТУ.971101.000 ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Необхідна кількість ламп для приміщення:

$$N = \frac{538200}{9000} = 60 \text{ шт.}$$

Для КСС типу Г коефіцієнт світильника:

$$\lambda = L/h = (0,8 \div 1,2).$$

З урахуванням КСС найбільш доцільна відстань між світильниками:

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

Приймаємо $L = 5 \text{ м.}$

Відстань від крайнього ряду світильників до стін:

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

Приймаємо $l = 2,5 \text{ м.}$

Кількість світильників в ряду:

$$n_A = \frac{48 - 2 \cdot 2,5}{5} + 1 = 10 \text{ шт.}$$

Кількість рядів:

$$n_B = \frac{30 - 2 \cdot 2,5}{5} + 1 = 6 \text{ рядів.}$$

Відстань між лампами:

					ЛНТУ.971101.000 ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$L_A = \frac{48 - 2 \cdot 2,5}{10 - 1} = 4,78 \text{ м.}$$

$$L_B = \frac{30 - 2 \cdot 2,5}{6 - 1} = 5 \text{ м.}$$

Загальна кількість світильників 60 шт.

Розрахунковий світловий потік однієї лампи:

$$\Phi_{p.l} = \frac{538200}{60} = 8970 \text{ лм.}$$

Загальна фактична освітленість однієї лампи:

$$E_\phi = \frac{200 \cdot 9000}{8970} = 200,67 \text{ лк.}$$

Відхилення фактичної освітленості від нормативного значення:

$$E_\% = \frac{200,67 - 200}{200} \cdot 100 = 0,3\%$$

Прийнято до встановлення 6 рядів світильників по 10 світильників в ряду.

Живлення освітлення здійснюється від освітлювального щитка ЩО-12.

					ЛНТУ.971101.000 ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК І ВИБІР ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ТА ЕЛЕМЕНТІВ СХЕМИ КЕРУВАННЯ ВЕНТУСТАНОВКИ

3.1. Загальна характеристика вентиляційної установки

Вентиляція — це сукупність технічних засобів і організаційних заходів, спрямованих на забезпечення необхідного повітрообміну в приміщеннях з метою створення та підтримання нормативного стану повітряного середовища. Вона забезпечує підтримання необхідної чистоти повітря, температури та вологості відповідно до вимог будівельних і санітарних норм. Параметри повітряного середовища визначаються санітарно-гігієнічними нормативами. Зокрема, вміст шкідливих домішок у повітрі виробничих приміщень, таких як гази, пари або пил, не повинен перевищувати гранично допустимих концентрацій, безпечних для здоров'я людини. Температура та відносна вологість повітря встановлюються залежно від умов праці та мають забезпечувати комфортне самопочуття працівників. У багатьох випадках параметри мікроклімату визначаються не лише санітарними вимогами, а й особливостями технологічного процесу, який здійснюється у виробничому приміщенні.

Основним призначенням вентиляції є створення та підтримання сприятливих метеорологічних умов у робочій зоні. Це досягається шляхом видалення з приміщення забрудненого або перегрітого повітря та подачі свіжого, очищеного повітря ззовні. Таким чином вентиляційні системи забезпечують зменшення концентрації шкідливих речовин, таких як вуглекислий газ, пил, пари або інші домішки, що утворюються під час виробничих процесів.

Вентиляція є комплексом технічних рішень, які забезпечують на постійних робочих місцях і в зонах обслуговування виробничих приміщень необхідні параметри мікроклімату та належну якість повітряного середовища.

					ЛНТУ.971101.000 ПЗ							
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата								
Розробив		Поляк			Електропостачання заводу будівельних матеріалів встановленою потужністю 2350 кВт. Пояснювальна записка.			Літ.		Аркуш	Аркушів	
Перевірів		Давиденко								45	13	
								ФАБЕ, гр. ЕЕЗ-41				
Н.контроль		Ващелюк										
Затвердив		Волинець										

У промислових умовах найпоширенішою є припливно-витяжна система вентиляції, при якій свіже повітря подається у робочу зону, а забруднене повітря видаляється з приміщення. Часто при цьому застосовується місцева витяжка, яка відводить шкідливі речовини безпосередньо з місць їх утворення, що значно підвищує ефективність очищення повітря.

Для забезпечення належних санітарно-гігієнічних умов праці використовують системи припливно-витяжної вентиляції з механічним або комбінованим (механічним і природним) спонуканням руху повітря. Такі системи здійснюють примусову подачу свіжого повітря до приміщення та видалення з нього забрудненого повітря. Однією з найбільш ефективних вважається збалансована припливно-витяжна вентиляція, принцип роботи якої полягає в одночасній подачі до приміщення і видаленні з нього приблизно однакової кількості повітря.

Припливні вентиляційні системи призначені для подачі до приміщення свіжого повітря, яке замінює повітря, що видаляється. Перед подачею повітря може проходити відповідну обробку: очищення від пилу, підігрівання, зволоження або інші види підготовки. Для цього використовуються спеціальні припливні камери, які можуть працювати як без рециркуляції, так і з частковим повторним використанням повітря.

У системах припливної вентиляції можливе застосування рециркуляції повітря, тобто повторного використання частини повітря приміщення після його очищення. Найчастіше рециркуляцію використовують у холодний період року для зменшення витрат теплової енергії на підігрівання припливного повітря. Однак можливість її застосування визначається санітарно-гігієнічними та протипожежними вимогами. У вентиляційних установках з рециркуляцією часто застосовують рекуператори - спеціальні теплообмінники, які дозволяють передавати тепло від витяжного повітря припливному без змішування потоків. Завдяки цьому зменшуються енергетичні витрати на нагрівання повітря. У секціях припливних камер також можуть виконуватися процеси очищення, нагрівання та адіабатичного зволоження повітря.

					ЛНТУ.971101.000 ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Конструктивно система припливно-витяжної вентиляції складається з двох окремих каналів — припливного та витяжного, які з'єднані мережею повітроводів і містять різні елементи обладнання: вентилятори, фільтри, нагрівачі, шумоглушники, клапани та інші пристрої, що забезпечують ефективну роботу вентиляційної системи. Система припливно витяжної вентиляції конструктивно включає в себе два незалежні канали подачі і видалення повітря, кожен з яких містить кілька окремих пристроїв, з'єднаних між собою повітроводами. Припливне повітря подається в приміщення розсіяним потоком, для чого використовуються спеціальні насадки.

Основні параметри припливно-витяжної вентиляції:

- продуктивність системи, що забезпечує необхідний повітрообмін в приміщеннях;
- необхідний тиск в системі, створюване вентиляторами;
- швидкість потоку повітря в повітроводах і площа їх перетину;
- допустимі рівні шумів при роботі системи;
- потужність повітронагрівача для вступника зовнішнього повітря.

Вибір конкретних параметрів та мінімально необхідний повітрообмін в приміщеннях залежить від розміру, розташування і призначення виробничих приміщень, що вентилуються, кількості людей, що там знаходяться.

Робочий тиск в повітроводах залежить від технічних характеристик вентиляторів: продуктивності ($\text{м}^3/\text{год}$) і створюваному повному тиску в робочій зоні (Па), а також від типу та розміру перерізу трубопроводів, їх довжини, наявності поворотів, переходів та інших додаткових елементів вентсистеми. Повний тиск, що створюється вентилятором, повинен перевищувати загальні втрати у вентиляційній системі. Тому, чим довше і складніше по пристрою і конфігурації повітропровідної мережа, тим могутніше повинен бути вентилятор.

Припливно витяжна механічна вентиляція повинна забезпечувати швидкість повітряного потоку в межах 3-5 м/с. Перевищення цієї межі призводить до зниження робочого тиску в системі і виникнення сильних аеродинамічних шумів, неприпустимих в житлових і робочих приміщеннях.

					ЛНТУ.971101.000 ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2. Визначення параметрів вентиляційної установки

3.2.1. Розрахунок повітрообміну та вибір вентилятора

Вентиляційна система розміщена у цеху лако-фарбових матеріалів.

Розміри цеху – 30 м х 48 м. Висота цеху – 6 м.

Для забезпечення відповідних санітарних вимог в виробничих приміщеннях вентиляційна установка повинна забезпечувати необхідний повітрообмін.

Обчислимо повітрообмін для кожного виду газу:

$$L_{CO_2} = \frac{480}{1 - 0,5} = 960 \text{ м}^3/\text{год};$$

$$L_{Fe_2O_3} = \frac{360}{1 - 0,5} = 720 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Приймаємо більше значення необхідного повітрообміну: $L = 960 \text{ м}^3/\text{год}$.

Необхідний повітрообмін при тепловиділенні:

$$L_T = \frac{350}{0,24 \cdot 1,2 \cdot 3} = 405 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Загальний повітрообмін складає:

$$L_{заг} = 960 + 450 = 1365 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Для забезпечення даних параметрів приймаємо вентилятор ТОВ "Київський вентиляторний завод" [16] типу ВЦ4-76-6-3-У3, призначений для систем вентиляції повітря та інших газових сумішей, агресивність яких до вуглецевої сталі не вище агресивності повітря з температурою до 80°C, та які не містять волокнистих матеріалів, липких речовин, пилу та інших твердих домішок

					ЛНТУ.971101.000 ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

не більше 100 мг/м³. Експлуатується в умовах помірного клімату, при температурі навколишнього середовища від -40°C до +40°C. Вентилятор ВЦ4-76-6-3-УЗ є вентилятором низького тиску, одностороннього всмоктування.

За характеристикою вентилятора, складеною для стандартного повітря ($t=20^{\circ}\text{C}$, $\varphi = 50\%$; барометричний тиск – 760 мм рт. ст.; $\rho=1,2$ кг/м³), визначаємо для необхідної продуктивності $L_{заг} = 1356$ м³/год та необхідного напору $H_e = 36$ кг/м² частоту обертання вентилятора: $n = 15000$ об/хв. та ККД $\eta_e = 0,75$.

3.2.2. Визначення основних розмірів вентилятора

Основні аеродинамічні розміри вентиляторів розрахуємо з урахуванням рекомендацій [17] згідно методики, наведеної в додатку Б.

Питома швидкохідність вентилятора:

$$n_{\text{пит}} = 53 \cdot \frac{0,377^{1/2} \cdot 100}{(1,2 \cdot 9,8 \cdot 36)^{3/4}} = 34,86$$

Діаметр входу до вентилятора:

$$D_0 = 1,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,377}{100}} = 0,25 \text{ м.}$$

Діаметр входу в колесо приймають рівним діаметру входу до вентилятора:

$$D_1 = 0,25 \text{ м.}$$

Зовнішній діаметр колеса:

$$D_2 = 60 \cdot \frac{0,25}{34,86} = 0,43 \text{ м.}$$

					ЛНТУ.971101.000 ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для приєднання до повітропроводів зручними є спіральні корпуси, випускні отвори яких мають форму квадрату, а площі рівні вхідним отворах. Тоді сторона випускного отвору:

$$B = 0,885 \cdot 0,25 = 0,221$$

Ширина колеса:

$$b = 2 \cdot \frac{0,25}{4} = 0,125 \text{ м.}$$

Величина розкриття спірального корпусу вентилятора:

$$A = \frac{0,43 \cdot 34,86}{90} = 0,166 \text{ м.}$$

$$a = \frac{0,166}{4} = 0,041 \text{ м.}$$

Число лопатей робочого колеса:

$$Z = \pi \cdot \frac{0,43 + 0,25}{0,43 - 0,25} = 11,86 \approx 12.$$

З метою зменшення гідравлічних втрат кут входу на лопаті слід приймати в межах $\beta_1 = 40 \dots 80^\circ$, при цьому більший кут відповідає колесам з меншими значеннями питомої швидкості. Приймаємо $\beta_1 = 60^\circ$. Кут встановлення лопатей на виході з колеса доцільно приймати: $\beta_2 = 140 \dots 160^\circ$ для лопатей, загнутих вперед; $\beta_2 = 20 \dots 40^\circ$ для лопатей, загнутих назад. Приймаємо $\beta_2 = 150^\circ$.

					ЛНТУ.971101.000 ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3. Вибір потужності електродвигуна електроприводу вентилятора

Вентиляційні установки у виробничих приміщеннях зазвичай працюють протягом тривалого часу без перерв, тому для механізмів вентиляторної групи характерний тривалий режим роботи. У більшості випадків такі установки функціонують безперервно протягом усієї робочої зміни або навіть цілодобово, що висуває підвищені вимоги до надійності електроприводу та стабільності його роботи. Однією з характерних особливостей вентиляторів є невеликий пусковий момент, який зазвичай становить близько 20–25 % від номінального моменту двигуна. Це пов'язано з тим, що на початковому етапі пуску вентилятор створює незначний аеродинамічний опір, а навантаження на вал електродвигуна поступово збільшується в міру зростання швидкості обертання робочого колеса. Завдяки цьому запуск вентиляторів відбувається відносно легко і не потребує спеціальних пускових пристроїв великої потужності. З огляду на конструктивні та технологічні особливості роботи вентиляційних установок, їх електроприводи, як правило, виконують нереверсивними, оскільки зміна напрямку обертання вентилятора у процесі експлуатації практично не використовується. Крім того, для таких механізмів характерна порівняно невелика кількість пусків, що також враховується при виборі типу електродвигуна та пускової апаратури.

Для приводу вентиляторів застосовують асинхронні електродвигуни, які завдяки своїй простій конструкції, високій експлуатаційній надійності, довговічності та відносно невисокій вартості є найбільш поширеними у промислових електроприводах. Такі двигуни добре пристосовані до тривалого режиму роботи та не потребують складного технічного обслуговування.

Залежно від призначення вентиляційної установки, її продуктивності та умов технологічного процесу інколи виникає потреба у певному регулюванні продуктивності вентилятора. Це необхідно для підтримання оптимальних параметрів повітряного середовища у виробничих приміщеннях, зокрема температури, вологості, швидкості руху повітря або концентрації пилу та шкідливих домішок. Найпоширенішим способом регулювання продуктивності

					ЛНТУ.971101.000 ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вентилятора є зміна аеродинамічного опору повітропровідної мережі. Це здійснюється за допомогою спеціальних пристроїв: заслінок або регулювальних клапанів, які змінюють кількість повітря, що проходить через вентиляційну систему.

Під час вибору електродвигуна для вентиляційної установки необхідно забезпечити відповідність номінальної потужності двигуна потужності привідного механізму. Правильний вибір потужності електродвигуна забезпечує надійну та економічну роботу електроприводу, запобігає перевантаженню двигуна та підвищує ефективність роботи вентиляційної установки в цілому. Оскільки вентиляційна установка працює у тривалому режимі з відносно постійним навантаженням, необхідну потужність електродвигуна визначають за потужністю на валу вентилятора з урахуванням можливих втрат у проміжних механічних передачах, таких як муфти, ремінні або редукторні передачі.

Приймаємо: ККД передачі рівним 0,8, ККД вентилятора рівним 0,75, коефіцієнт запасу рівним 1,5. Потужність на валу вентилятора:

$$P_{p.дв} = \frac{1365 \cdot 36 \cdot 1,5}{102 \cdot 0,75 \cdot 0,8} = 1,24 \text{ кВт} .$$

Приймаємо до встановлення асинхронний двигун типу АІР111М4-У3 [16], для якого $P_{ном} = 1,5 \text{ кВт}$; $U_{ном} = 400 \text{ В}$; $\cos \varphi_n = 0,9$; $s_{ном} = 1,4 \%$; $n_{ном} = 1500 \text{ об./хв.}$; $\omega_{ном} = 100 \text{ рад/с}$.

$$P_{ном} = 1,5 \text{ кВт} > P_{p.дв} = 1,24 \text{ кВт}.$$

3.4. Вибір пускової і захисної апаратури

Для забезпечення роботи електродвигуна привода вентилятора, його запуску, захисту від короткого замикання в електричній схемі керування і перевантаження, передбачається встановлення автоматичного вимикача,

					ЛНТУ.971101.000 ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

магнітних пускачів, реле температури, реле часу, перемикач, кнопки керування. Автоматичний вимикач вибираємо за номінальним значенням струму і напруги.

Припливна вентиляційна установка складається з з'єднувальної секції з власне вентиляційною установкою, калориферної секції, секції фільтру та приймальної секції. В калориферних секціях (секціях підігріву) застосовуються багатопластинчасті багатоходові калорифери. Потужність нагрівального пристрою калориферів складає $P_{\text{кал}} = 0,6$ кВт. Обвідні канали обладнані спеціальними засувками з приводом для регулювання. В прийомній секції розміщено клапан зовнішнього повітря з виконавчим механізмом. Сумарна потужність додаткових пристроїв та механізмів складає $P_{\text{мех}} = 0,1$ кВт. Встановлена потужність припливної вентустановки складає $P_{\text{уст}} = 2,2$ кВт.

Розрахунковий струм вентиляційної установки:

$$I_p = \frac{2,2}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,8 \cdot 0,92} = 4,54 \text{ А.}$$

Попередньо приймаємо вимикач типу S203-D10, $I_{\text{ном}} = 10$ А, $I_{\text{роз. ном}} = 10$ А, $I_{\text{відкл}} = 5$ кА. Перевірка вимикача:

- за номінальним струмом розчеплювача:

$$10 \text{ А} > 4,54 \text{ А.}$$

- за умовою не спрацювання при короткочасних перевантаженнях:

$$10 \text{ А} > 1,25 \cdot 4,54 = 5,67 \text{ А.}$$

- за допустимим струмом вимкнення:

$$5 \text{ кА} > 3,34 \text{ кА.}$$

					ЛНТУ.971101.000 ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибираємо електромагнітний пускач серії ПМЛ-500 ПМЛ 3120, для якого $I_{ном}=15\text{ А}$.

Перемикач вибору режиму роботи вентиляційної установки приймаємо типу КУ-038. Кнопки пуску електродвигунів вентилятора вибираємо серії ПКЛ ~ 400 В. Запобіжники для захисту схеми керування вибираємо ПР-2 на номінальний струм 15 А, $I_{пл.вст.} = 6\text{ А}$.

3.5. Автоматизація вентиляційної установки

3.5.1. Характеристика та основні вимоги до схеми керування

Робота припливних камер є автоматизованою. Автоматизація припливних камер забезпечує регулювання тепловіддачі калориферної секції по теплоносію, захист калориферів від замерзання, можливість підтримання постійної температури припливу або регулювання по температурі приміщення з врахуванням впливу технологічних тепловиділень, подачі повітря з метою вентиляції або компенсації витяжної вентиляції. Автоматичне регулювання температури припливного повітря у приміщенні передбачається шляхом дії на регулюючі клапани, що встановлені на трубопроводах теплоносія калориферної установки, а також на регулюючі клапани зовнішнього повітря. Повітрянагрівач розділено на дві секції, які встановлено послідовно по ходу повітря та приєднані паралельно через індивідуальні регулюючі клапани. Регулювання здійснюється зміною витрати теплоносія послідовно через кожну з секцій. При цьому крізь першу по ходу повітря секцію проходить практично постійна витрата теплоносія при від'ємній температурі зовнішнього повітря. Регулювальні клапани встановлено на зворотному трубопроводі після повітрянагрівача. Для повітрянагрівачів припливних камер використовуються клапани з рівновідсотковою пропускною характеристикою.

Схемою автоматизації припливної вентиляційної установки передбачено автоматичний захист повітрянагрівача від замерзання, який функціонує при:

- ввімкненні венткамери перед запуском припливного вентилятора;

					ЛНТУ.971101.000 ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- вимкненій камері, коли є небезпека пропускання в повітронагрівач повітря з від'ємною температурою;
- працюючій камері, якщо температура повітря, що поступає в повітронагрівач є від'ємною.

Автоматичний захист здійснюється наступним чином:

- при вимкненій венткамері та зниженні температури повітря перед повітронагрівачем до $+3^{\circ}\text{C}$, терморегулюючий пристрій дає команду на прогрівання повітронагрівача шляхом відкриття клапана на трубопроводі теплоносія. Після прогрівання та підвищення температури повітря регулювальний клапан на трубопроводі теплоносія прикривається;
- при увімкненні венткамери передбачається автоматичний попередній прогрів повітронагрівача перед пуском припливного вентилятора шляхом відкривання клапана на трубопроводі теплоносія. Час попереднього прогріву залежно від конкретних умов знаходиться в межах $1\div 3$ хв.;
- при працюючій венткамері при зниженні температури води після повітронагрівача до $20-30^{\circ}\text{C}$ терморегулюючий пристрій дає команду на повне відкриття клапану на трубопроводі та відключення припливного вентилятора;

Схема керування роботою вентустановки забезпечує узгодження з електричними принциповими схемами управління; автоматичне регулювання припливного повітря або повітря в приміщенні шляхом дії на виконавчі механізми відповідних регулюючих клапанів; ручне управління виконавчими механізмами за допомогою пристроїв, дублюючих команди регулюючих приладів; автоматичний прогрів повітронагрівача перед запуском припливного вентилятора та автоматичний захист повітронагрівача від замерзання; узгодження з схемами регулювання; блокування керування припливно-витяжними системами; передачі команд на віддаль; протипожежної автоматики.

Прилади та засоби автоматизації розміщені в щитах регулювання та безпосередньо в припливних камерах, повітропроводах, трубопроводах та приміщеннях, що обслуговуються венткамерами. Апаратура управління, включаючи силові блоки, розміщена в щитах управління венткамери. Щит

					ЛНТУ.971101.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

регулювання прийняті малогабаритними. Живлення щитів регулювання здійснюється напругою 230 В змінного струму промислової частоти 50 Гц.

3.5.2. Вибір контрольно-вимірювальних елементів

Для контролю температури в приміщенні приймаємо давач температури компанії АКУТЕК [18] типу DTS125M-RS з цифровим інтерфейсом RS-485. Термометри опору DTS-RS з RS-485 підключаються безпосередньо до відповідних портів контролерів і шлюзів, без необхідності використання аналогових входів контролерів і модулів введення. RS безперервно перетворює виміряні значення температури в цифровий сигнал, придатний для передачі через інтерфейс RS-485 (протокол Modbus RTU).

Для безперервного вимірювання тиску і подальшого перетворення виміряного значення в уніфікований вихідний сигнал по струму або напрузі приймаємо перетворювач тиску ПД155 [18]. Перетворювач тиску ПД155 застосовується для автоматизації систем вентиляції та кондиціонування повітря і забезпечує контроль тиску в вентиляційних каналах та контроль забруднення фільтрів через передавання інформації на контролер або безпосередньо на частотний перетворювач.

3.5.3. Вибір контролера

Система автоматизованого керування установкою вентиляції відіграє роль контролюючого центру, за допомогою якого вентиляційне обладнання запускається, зупиняється, виводиться на необхідний користувачу режим роботи по температурі або вологості і інших можливих критеріям. Крім керуючих функцій важливе значення мають функції контролю, що дозволяють запобігти обмерзанню теплообмінників, забезпечити інформування про забруднення фільтрів, перегрів електронагрівача або нештатну зупинку вентилятору.

Для реалізації завдань керування вентиляційної системи приймаємо спеціалізований контролер типу ОВЕН ТРМ1033 [18]. Контролер ОВЕН

ТРМ1033 з готовими алгоритмами призначений для погодозалежного керування системою припливної та припливно-витяжної вентиляції: контролює і регулює температуру повітря в приміщенні, а також додаткові параметри системи, наприклад, температуру припливного повітря; керує основними вузлами вентиляційної системи, контролює справність під'єданого обладнання.

Контролер здійснює управління припливно-витяжної вентиляційної установкою з секціями нагріву і охолодження, рекуператором з підтриманням температурних параметрів повітря в приміщенні, в тому числі шляхом регулювання продуктивності вентилятора, що укомплектований частотним перетворювачем. Налаштування здійснюється шляхом вибору потрібного набору конфігурацій системи в меню контролера.

Для віддаленого моніторингу та керування системою вентиляції спільно з контролером ОВЕН ТРМ1033 використовується сенсорний пульт керування ОВЕН ВПУ1-3.К з готовими конфігураціями меню дає можливість віддалено встановлювати параметри і контролювати роботу вентиляційної установки. Пульт керування вентиляцією ВПУ1 працює в мережі RS - 485 за протоколом Modbus RTU.

					ЛНТУ.971101.000 ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

САПР

Застосування принципів автоматизації процесів проєктування продемонстровано на прикладі розрахунку електричних навантажень цеху на першому та другому рівні системи електропостачання як одного з найбільш відповідальних та трудомістких етапів процесу проєктування.

Постановка задачі:

- визначити електричне навантаження, що створюють електроприймачі цеху на першому рівні СЕП;
- визначити електричне навантаження, що створюють електроприймачі цеху на другому рівні СЕП;
- розрахувати електричне навантаження, яке є частиною електричного навантаження третього рівня СЕП;
- розрахувати значення струмового навантаження, яке створюють електроприймачі на першому та другому рівні СЕП.

Розрахунок електричного навантаження виконано згідно методики, наведеної в Додатку А (формули А.1 – А.14).

Вихідними даними є:

- встановлена потужність кожного електроприймача;
- кількість електроприймачів одного типу;
- коефіцієнт використання електроприймача відповідного типу;
- коефіцієнт потужності електроприймача.

Результатом розрахунку (рис. 4.1) є визначення розрахункового навантаження цеху на різних рівня СЕП, значення якого використовується для вибору елементів СЕП.

					<i>ЛНТУ.971101.000 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Електропостачання заводу будівельних матеріалів встановленою потужністю 2350 кВт. Пояснювальна записка.</i>	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розробив</i>	<i>Поляк</i>						58	2
<i>Перевірив</i>	<i>Давиденко</i>					<i>ФАБЕ, гр. ЕЕЗ-41</i>		
<i>Н.контроль</i>	<i>Ващелюк</i>							
<i>Затвердив</i>	<i>Волинець</i>							

C27															
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	споживач	Рн	к-сть	Рн сум	cos	tg	Кв	m	Рс зм	Qс зм	Ne	Кв	Рм	Qm	Sm
2	I група														
3	З змінним графіком														
4	кран	7,5	1	7,5	0,45	1,98	0,09		0,675	1,34					
5	млин	15,5	6	93	0,6	1,33	0,25		23,25	31,00					
6	Разом з змінним графіком		7	100,5			0,24	2,07	23,93	32,34	12,97	1,60	38,28	32,34	
7	Разом по групі I		7	100,5					23,925	32,34	13,00		38,28	32,34	50,11
8	II група														
9	З змінним графіком														
10	кран	10,5	1	10,5	0,45	1,98	0,09		0,945	1,87					
11	Мішалка	12,5	2	25	0,6	1,33	0,25		6,25	8,31					
12	Разом з змінним графіком		3	35,5			0,20	1,19	7,195	10,18	3,00	2,60	18,71	11,20	
13	З постійним графіком										3,00				
14	насос	5,5	4	22	0,75	0,88	0,6		13,2	11,64					
15	Змішувач-ректор	29,25	2	58,5	0,85	0,62	0,75		43,875	27,19					
16	Водонагрівач	15	1	15	0,95	0,33	0,6		9	2,96					
17	Разом з постійним графіком		7	95,5			0,69		66,075	41,79			66,08	41,79	
18	Разом по групі II		10	131					73,27	51,97			84,78	52,99	99,98
19	III група														
20	З постійним графіком														
21	Вентиляційна установка	3,5	3	10,5	0,8	0,75	0,65		6,825	5,12					
22	Припливна вентиляційна	2,2	2	4,4	0,75	0,88	0,65		2,86	2,52					
23	Разом з постійним графіком		5	14,9			0,65		9,685	7,64			9,69	7,64	
24	Разом по групі III		5	14,9					9,685	7,64			9,69	7,64	12,34
25	Разом по цеху		22	246,4					106,88	91,95			132,75	92,97	162,00

Рисунок 4.1 – Результати розрахунку електричного навантаження в Excel

РОЗДІЛ 5 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА

Розрахунок заземлюючого пристрою зводиться до розрахунку заземлювача згідно рекомендацій [12, 19] з використанням методики, наведеної в додатку В.

Вихідні дані до розрахунку:

- обладнання, що захищається: ЕП цеху;
- розміщення обладнання, що захищається — стаціонарне;
- напруга мережі: 400 В;
- режим роботи нейтралі мережі: глухо заземлена нейтраль;
- ґрунт: суглинок; склад: однорідний; вологість: не велика; агресивність: нормальна;
- кліматична зона - II.

Спорудження заземлюючого пристрою передбачається з зовнішньої сторони цеху з розміщенням вертикальних електродів по периметру.

Для улаштування заземлюючого пристрою приймаємо:

- вертикальні заземлювачі – металеві стержні довжиною $l_B = 5\text{ м}$; діаметр труб $d = 0,02\text{ м}$;
- горизонтальний заземлювач – металева полоса товщиною $b = 0,05\text{ м}$

Попередньо приймаємо:

- відношення відстані між трубами до їхньої довжини $L_B/l_B = 1$;
 - глибина, на яку закладено вертикальні заземлювачі: $h_B = 0,7\text{ м}$;
- горизонтальні: $h_G = 0,7\text{ м}$.

Питомий опір ґрунту [19]: $\rho = 100\text{ Ом}\cdot\text{м}$.

Приймаємо коефіцієнт сезонності [19] для вертикальних електродів довжиною 5 м :

$$K_c = 1,3.$$

					<i>ЛНТУ.971101.000 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Електропостачання заводу будівельних матеріалів встановленою потужністю 2350 кВт. Пояснювальна записка.	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розробив</i>	<i>Поляк</i>						60	3
<i>Перевірив</i>	<i>Давиденко</i>					ФАБЕ, гр. ЕЕЗ-41		
<i>Н.контроль</i>	<i>Ващелюк</i>							
<i>Затвердив</i>	<i>Волинець</i>							

Опір ґрунту для вертикальних електродів:

$$\rho_{pв} = 100 \cdot 1,3 = 130 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

Відстань від поверхні землі до середини вертикального заземлювача:

$$t = 0,7 + 5/2 = 3,2 \text{ м.}$$

Опір розтіканню одного вертикального електрода стержневого типу:

$$R_{o.Вe} = \frac{130}{2 \cdot 3,14 \cdot 5} \left(\ln \frac{2 \cdot 5}{0,02} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 3,2 + 5}{4 \cdot 3,2 - 5} \right) = 27,43 \text{ Ом.}$$

Орієнтовна кількість вертикальних електродів по периметру цеху:

$$n_{op.} = \frac{2 \cdot (36 + 24)}{5} = 24 \text{ шт.}$$

Довжина горизонтального електрода:

$$l = 1,05 \cdot (36 + 24) \cdot 2 = 126 \text{ м.}$$

Для горизонтальних електродів при глибині закладання 0,7 м [19]: $K_c = 2$.

Опір ґрунту для горизонтальних електродів:

$$\rho_{pг} = 100 \cdot 2 = 200 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

Визначаємо розрахунковий опір розтіканню горизонтальних електродів :

					ЛНТУ.971101.000 ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_{re} = \frac{200}{2 \cdot 3,14 \cdot 126} \cdot \ln \frac{126^2}{0,05 \cdot 0,7} = 3,29 \text{ Ом.}$$

Вибираємо коефіцієнт використання [19]: вертикальних електродів $K_{в.В.} = 0,43$; горизонтальних електродів $K_{в.Г.} = 0,25$.

Розрахунковий опір горизонтального електроду:

$$R_{p.Г} = \frac{3,29}{0,25} = 13,17 \text{ Ом.}$$

Приймаємо, що всі вертикальні заземлювачі з'єднані паралельно. Тоді розрахунковий опір вертикальних електродів:

$$R_{p.В} = \frac{27,43}{24 \cdot 0,43} = 2,65 \text{ Ом.}$$

Опір групового заземлювача:

$$R_{гр} = \frac{13,17 \cdot 2,65}{13,17 + 2,26} = 2,206 \text{ Ом} < R_{дон.}$$

					ЛНТУ.971101.000 ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Система електропостачання підприємства повинна забезпечувати надійну та безпечну передачу електричної енергії до всіх споживачів, мінімальні втрати електроенергії та відповідати вимогам електробезпеки. Раціональна організація електропостачання забезпечує безперебійну роботу технологічного обладнання, підвищення продуктивності виробництва та зниження експлуатаційних витрат. Розроблення та обґрунтування раціональної системи електропостачання промислового підприємства є важливим і актуальним завданням, вирішення якого сприяє підвищенню ефективності використання електричної енергії, зниженню експлуатаційних витрат та забезпеченню надійної роботи виробничого обладнання. В кваліфікаційному проєкті враховано сучасні вимоги до енергоефективності та надійності електропостачання та виконано побудову системи електропостачання промислового об'єкту із застосуванням загальноприйнятих підходів та методик проєктування СЕП.

Для визначення електричних навантажень використано загальноприйняті методи розрахунку, що дозволяють отримати достовірні значення розрахункових потужностей на різних рівнях системи електропостачання підприємства. Під час проєктування системи освітлення також враховано необхідність забезпечення нормативного рівня освітленості робочих поверхонь, рівномірності освітлення, обмеження сліпучої дії світильників, створення сприятливих умов для виконання виробничих операцій.

Важливе значення має правильний вибір потужності трансформаторів, перерізу кабельних ліній, комутаційно-захисної апаратури та схем розподілу електричної енергії. Під час проєктування СЕП враховано категорію надійності електроприймачів, характер технологічного процесу, можливість резервування живлення, а також необхідність застосування засобів компенсації реактивної потужності.

Застосування відповідних методів у комплексі дозволяє забезпечити достатню точність розрахунків електричних навантажень, що забезпечило

					ЛНТУ.971101.000 ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

правильний вибір елементів електричної мережі, трансформаторного обладнання, комутаційно-захисної апаратури та перерізів струмопровідних елементів.

В роботі виконано перевірку допустимості роботи комутаційно-захисної апаратури та струмопровідних елементів мережі розподілу електричної енергії різних ієрархічних рівнів. Розрахунок струмів короткого замикання в різних точках СЕП об'єкту є важливою складовою правильного вибору комутаційно-захисної апаратури з точки зору забезпечення стійкості елементів електричної мережі до аварійних режимів і забезпечення надійної роботи електрообладнання. Визначені струми КЗ в мережі, підтвердили правильність прийнятих технічних рішень по вибору комутаційної апаратури та провідників.

В проєкті розглянуто питання вибору електрообладнання та елементів схеми керування вентиляційної установки цеху. В результаті прийнято рішення щодо організації та вибору елементів систем електричного та технологічного захисту, що забезпечують безпечну експлуатацію обладнання та запобігають виникненню аварійних ситуацій. Для приводу вентиляторів вибрано асинхронний електродвигун, потужність якого відповідає параметрам вентилятора та умовам його роботи, що забезпечує надійний пуск і стабільну роботу вентиляційної установки.

Для забезпечення електробезпеки персоналу від ураження електричним струмом у разі аварійних режимів, таких як пошкодження ізоляції або випадковий контакт з струмопровідними частинами, стабільної роботи електрообладнання та надійного спрацювання захисних пристроїв розраховано контур захисного заземлення цеху.

У сукупності прийняті в проєкті технічні рішення забезпечують ефективну, надійну та безпечну роботу системи електропостачання підприємства, його технологічного обладнання та виробничих приміщень.

					ЛНТУ.971101.000 ПЗ	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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. 137 с.
4. Конденсаторні установки. ТОВ «Бутон». URL: <https://tovbuton.com.ua>
5. Правила улаштування електроустановок. Харків : «Індустрія», 2014.
6. Каталог продукції. ТОВ «Екватор». URL: <http://ekvator.net.ua/>
7. Лічильники електроенергії. ЗАТ «ЕЛВІН».URL: <https://elmisto.com.ua/>
8. Каталог продукції. "Мегомметр". URL: <https://www.megommetr.com>
9. ТС. ТОВ Електросервіс. URL: <http://elektroservice.com.ua>
10. Рудницький В.Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Суми: ВТД «Університетська книга», 2007.
11. Каталог продукції АСКО-УКРЕМ. URL: <https://www.acko.ua/>
12. Панелі ЩО-90. ТОВ ВТП «Бутон». URL: <https://tovbuton.com.ua>
13. Автоматичні вимикачі ВА-77. ТМ «Електро». URL: <https://electrotm.ua/>
14. Промислові світлодіодні світильники. ТОВ "LEDSTER™" URL: <https://ledster.com.ua/>
15. ДБН В.2.5-67:2013 "Опалення, вентиляція та кондиціонування", Мінрегіон України, 2013. 133 с.
16. Промислова вентиляція. Каталог. ТОВ "КВЗ". URL: <https://ventilator.ua/>
17. Шульга Н.А., Алексахін А.А., Юхно І.Ф. Теплопостачання та вентиляція будівель. Харків; ХНАГ, 2012.
18. Перетворювач частоти Hitachi. Каталог. URL: <https://eltech.kiev.ua/>
19. Основи охорони праці: Підручник / К.Н. Ткачук, М.О. Халімовський, та ін. За ред. К.Н. Ткачука. К. : Основа, 2011.

					ЛНТУ.971101.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

