

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Центр заочної, дистанційної та вечірньої форм навчання
Кафедра електроенергетики

Робота допущена до захисту

Зав. кафедри

_____ І. Л. Лебединський

«_____» _____ 2021 р.

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему:

«Проектування системи електропостачання

виробничого цеху ТОВ «Фавор»

Спеціальність: 8.141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Виконав студент гр. ЕТ.мз – 01с _____ М.В. Петровський

Керівник к.т.н., ст. викладач _____ С.М. Лебедка

Консультант

з економічної частини к.е.н, доцент _____ О.М. Маценко

Нормоконтроль ст. викладач _____ М.А. Никифоров

Суми-2021

РЕФЕРАТ

с. 126, табл. 12, рис. 14.

Бібліографічний опис: Петровський М.В. Проектування системи електропостачання виробничого цеху ТОВ «Фавор» [Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра; спец.: 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / М.В. Петровський; керівник С.М. Лебедка. – Суми: СумДУ, 2021. – 126 с.

Ключові слова: електропостачання, трансформатор, напруга, силовий кабель, автоматичний вимикач;

электроснабжение, трансформатор, напряжение, силовой кабель, автоматический выключатель;

power supply, transformer, voltage, power cable, circuit breaker.

Короткий огляд. Проведено розрахунок силової та освітлювальної мереж електропостачання виробничого цеху № 3 ТОВ "Фавор". Розраховано електричне навантаження системи електропостачання на 3-х рівнях. Визначено необхідну кількість світильників освітлювальної мережі цеху. Здійснено розрахунок потужності та обрано трансформатор цехової трансформаторної підстанції. Розраховано та обрано перерізи кабелів та проводів силової живильної та розподільної мереж, а також освітлювальної мережі цеху. Виконано розрахунок струмів трифазного та однофазного короткого замикання в різних точках системи електропостачання цеху. Обрано автоматичні вимикачі для захисту електричних мереж від надструмів та струмів короткого замикання. Розраховано параметри системи грозозахист цеху. Розглянуті підходи щодо визначення коефіцієнтів несинусоїдальності напруги. Розглянуто питання охорони праці та проведений розрахунок параметрів контуру заземлення для захисту від ураження електричним струмом. Виконано порівняльний техніко-економічний аналіз двох варіантів освітлення при використанні різних типів світильників.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ВН – висока напруга;
ЕА – електричний апарат;
ЕД – електродвигун;
ЕП – електроприймач;
КЗ – коротке замикання;
КТП – комплектна трансформаторна підстанція;
КП – компенсуючий пристрій;
НК – низьковольтний конденсатор;
НН – низька напруга;
МСЗ – максимальний струмовий захист;
МГЛ – металогалогенні лампи;
ПЗ – пристрій заземлення;
ПС – підстанція;
ПУЕ – Правила улаштування електроустановок;
РЗ – релейний захист;
СВ – струмова відсічка;
СЕР – система електропостачання
СРП – силовий розподільний пункт;
СРШ – силова розподільна шафа;
ТП – трансформаторна підстанція;
ЩРО – щиток розподільний освітлювальний;
ЦТП – цехова трансформаторна підстанція.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО	9
1.1 Короткий опис технологічних процесів	9
1.2 Загальні відомості про навантаження підприємства	10
1.3 Загальні відомості про цехові навантаження	10
2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ ЦЕХУ	17
3. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЦЕХУ	26
3.1 Визначення розрахункового силового навантаження цеху на першому рівні електропостачання	29
3.2 Визначення розрахункового силового навантаження цеху на другому рівні електропостачання	33
3.3 Визначення розрахункового силового навантаження цеху на третьому рівні електропостачання	39
3.4 Розрахунок навантаження загального електричного освітлення цеху	42
4. ВИБІР НОМІНАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРА ЦЕХОВОЇ ПІДСТАНЦІЇ.....	50
4.1 Вибір силового трансформатора для цеху.....	51
4.2 Визначення потужності конденсаторних установок з номінальною напругою конденсаторів 0,4 кВ	51
5. ВИБІР ПЕРЕРІЗУ ПРОВІДНИКІВ.....	53
5.1 Вибір перерізу кабельної лінії напругою 10 кВ	53
5.1.1 Вибір перерізу кабелю за нормальним режимом	53
5.1.2 Перевірка перерізу кабелю за максимальним режимом	55
5.1.3 Перевірка перерізу кабелю за термічною стійкістю	57
5.2 Вибір перерізу провідників живильної мережі напругою до 1 кВ	59

					MP 5.8.14.1.291 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Петровський М.В.			Проектування системи електропостачання виробничого цеху ТОВ «Фавор». Пояснювальна записка	Літ.	Арк	Архів
Керівник		Лебедка С.М.				5	126	
Консульт.						СумДУ, ЕТ.мз-01с		
Н. Контр.		Никифоров М.А.						
Зав.каф		Лебединський І.Л.						

5.2.1	Вибір перерізу кабелів	59
5.3	Вибір перерізу провідників розподільної мережі напругою до 1 кВ	63
6.	РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ	67
6.1	Розрахунок струмів трифазного короткого замикання	68
6.2	Розрахунок струмів однофазного короткого замикання.....	79
7.	ВИБІР ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ	83
7.1	Вибір автоматичних вимикачів	84
7.2	Вибір автоматів живильної та розподільної мережі цеху.....	88
7.3	Вибір рубильників.....	92
7.4	Узгодження вибраного перерізу провідників електричної мережі з вибраними апаратами захисту	94
8.	РОЗРАХУНОК ГРОЗОЗАХИСТУ ЦЕХУ	97
9.	НАУКОВА ЧАСТИНА. ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ НЕСИНУСОЇДАЛЬНОСТІ.....	100
10.	ОХОРОНА ПРАЦІ	104
10.1	Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів	104
10.1.1	Мікроклімат	104
10.1.2	Ступінь пожежної безпеки та вибухонебезпечності	105
10.1.3	Небезпека ураження електричним струмом обслуговуючого персоналу	105
10.2	Розрахунок заземлюючого контуру цеху	106
11.	ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ВАРІАНТІВ ОСВІТЛЕННЯ ЦЕХУ	113
	ВИСНОВКИ.....	119
	СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	121
	ДОДАТОК А. ПЛАН РОЗМІЩЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ ЦЕХУ	123
	ДОДАТОК Б. ОДНОЛІНІЙНА СХЕМА ЖИВЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ЦЕХУ..	124
	ДОДАТОК В. ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА СХЕМА СИЛОВОЇ МЕРЕЖІ ...	125
	ДОДАТОК Г. СХЕМА ОСВІТЛЮВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ ЦЕХУ	126

					<i>MP 5.8.141.291 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		6

ВСТУП

Електрична енергія застосовується у багатьох галузях народного господарства, особливо для різних електротехнологічних установок. В умовах безперервного розвитку промисловості України з'являються нові підприємства, які вносять свій вклад у збільшення загальнодержавного енергоспоживання. Слід також зауважити, що зі збільшенням числа об'єктів енергоспоживання, розширюється щільність географічного розташування споживачів електричної енергії. У зв'язку із цим усе більше з'являється потреба в проектуванні електропостачання нових об'єктів, розширенні існуючих мереж і в створенні нових. Зростаюча кількість об'єктів енергоспоживання веде до зростання потужностей, що передаються по електричних мережах.

Під системою електропостачання розуміють сукупність електроустановок для забезпечення споживачів електроенергією. При цьому електроустановками називають сукупність електричних машин, апаратів, ліній електропередач і додаткового обладнання (разом зі будівлями та приміщеннями, у яких вони розміщені), що призначені для виробництва, перетворення, трансформації, передачі й розподілу електричної енергії [1].

Системи електропостачання промислових підприємств створюються для забезпечення живлення електроенергією приймачів електричної енергії, до яких належать електродвигуни різних машин і механізмів, електричні печі, електролізні установки, апарати й машини для електричного зварювання, освітлювальні установки й інші промислові приймачі.

У наш час більшість споживачів одержує електричну енергію від енергосистем.

З розвитком електроспоживання ускладнюються й системи електропостачання промислових підприємств. У них включаються мережі високих напруг, розподільні мережі. Виникає необхідність впроваджувати автоматизацію систем електропостачання промислових підприємств і виробничих процесів, а також здійснювати активну роботу з економії електричної енергії й підвищення

					<i>MP 5.8.141.291 ПЗ</i>	Арк.
						7
<i>Змн.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ефективності роботи електроустановок.

Споживачі електроенергії мають свої специфічні особливості, чим і обумовлені визначені вимоги до їхнього електропостачання – надійність живлення, якість електроенергії, резервування, економічність, захист окремих елементів, безпека та зручність в експлуатації. При проектуванні, спорудженні та експлуатації систем електропостачання промислових підприємств необхідно правильно в техніко-економічному аспекті здійснювати вибір напруги, визначати електричні навантаження, число і потужність трансформаторних підстанцій і ін.

Одним з важливих питань при проектуванні систем електропостачання є досить точне визначення розрахункових навантажень.

Величина розрахункового навантаження визначає вибір усіх струмоведучих елементів системи електропостачання, вона необхідна для вибору силових та освітлювальних трансформаторів, кабельної живильної та розподільної мереж, комутаційної апаратури та компенсуючих пристроїв, а також для розрахунку втрат потужності на ділянках мережі.

					<i>MP 5.8.14.1.291 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>8</i>

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО

1.1 Короткий опис технологічних процесів

Підприємство ТОВ "Фавор" має у своєму складі адміністративний корпус, 3 виробничих цехи для виготовлення пакувальної продукції, її лакування та літографії, склад та котельню.

Виробнича база складається з двоповерхової адміністративної будівлі, де знаходиться управління, бухгалтерія, відділ кадрів та інші адміністративні та побутові приміщення.

На територію підприємства поставляється листовий метал для виготовлення більше 85 видів пакувальної тари для харчової, нафтохімічної, лакофарбувальної продукції та продукції для агропромислового сектору . Всі цехи укомплектовані сучасним енергоефективним та надійним обладнання іноземного виробництва: Soudronic (Швейцарія), Vlema (Німеччина), Bonfiglioli (Італія), Cleverttech (Італія), КВА (Німеччина).

На території підприємства знаходиться виробничий цех № 1, що розташований в окремому приміщенні. В цеху встановлені лінії для виготовлення металевої пакувальної тари для харчової продукції.

На території виробничої бази в окремому приміщенні знаходиться цех №2, де відбувається виготовлення з листового металу круглої та прямокутної пакувальної тари для хімічної продукції (лаків, фарб, продукції для агропромислового комплексу).

У виробничому цеху №3, що розглядається у магістерській роботі встановлення лінія з виготовлення аерозольних балонів та потужна 4-колірна лінія літографії та лакування жести.

Освітлення в цеху природне та штучне, що виконане з використанням металогалогенних ламп (МГЛ).

					<i>MP 5.8.141.291 ПЗ</i>	Арк.
						9
<i>Змн.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

1.2 Загальні відомості про навантаження підприємства

Живлення промислового підприємства ТОВ "Фавор" відбувається від ПС "Хотінь" 35/10 кВ (комірка №13 10 кВ). Територія виробничої бази займає площу близько 3,5 га.

Загальна приєднана потужність виробничої бази становить 1200 кВт, дозволена потужність – 900 кВт.

На балансі підприємства знаходиться 4 понижувальних трансформатори 10/0,4 кВ з них 3 трансформатори потужністю 400 кВА, а один потужністю 250 кВА, що розташовані на території виробничої бази. Довжина кабельних ліній живлення 10 кВ складає 70 та 90 м.

По ступеню надійності електропостачання більшість електроприймачів заводу належить до споживачів II та III категорії. Електроприймачі насосної станції пожежогасіння, а також аварійної вентиляції належать до споживачів I категорії.

Так як електроприймачі підприємства належать до II категорії з надійності електропостачання, живлення об'єктів дозволяється здійснювати по одноланцюговим лініям електропередач від одно- та двотрансформаторних ПС без взаємного резервування як по стороні ВН, так і по стороні НН.

Генеральний план з розміщенням споживачів на території підприємства показаний на рис.1.1.

1.3 Загальні відомості про цехові навантаження

Згідно завдання на магістерську роботу об'єктом проектування визначено приміщення виробничого цеху №3 підприємства ТОВ "Фавор" з виготовлення пакувальної продукції.

Розглянемо більш детально відомості про електроспоживачів цеху, специфіку роботи та технологію цеху, а також цехові навантаження.

В цеху знаходяться дві лінії: лінія з виробництва аерозольних балонів та лінія літографії жести.

					<i>MP 5.8.141.291 ПЗ</i>	Арк.
						10
<i>Змн.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

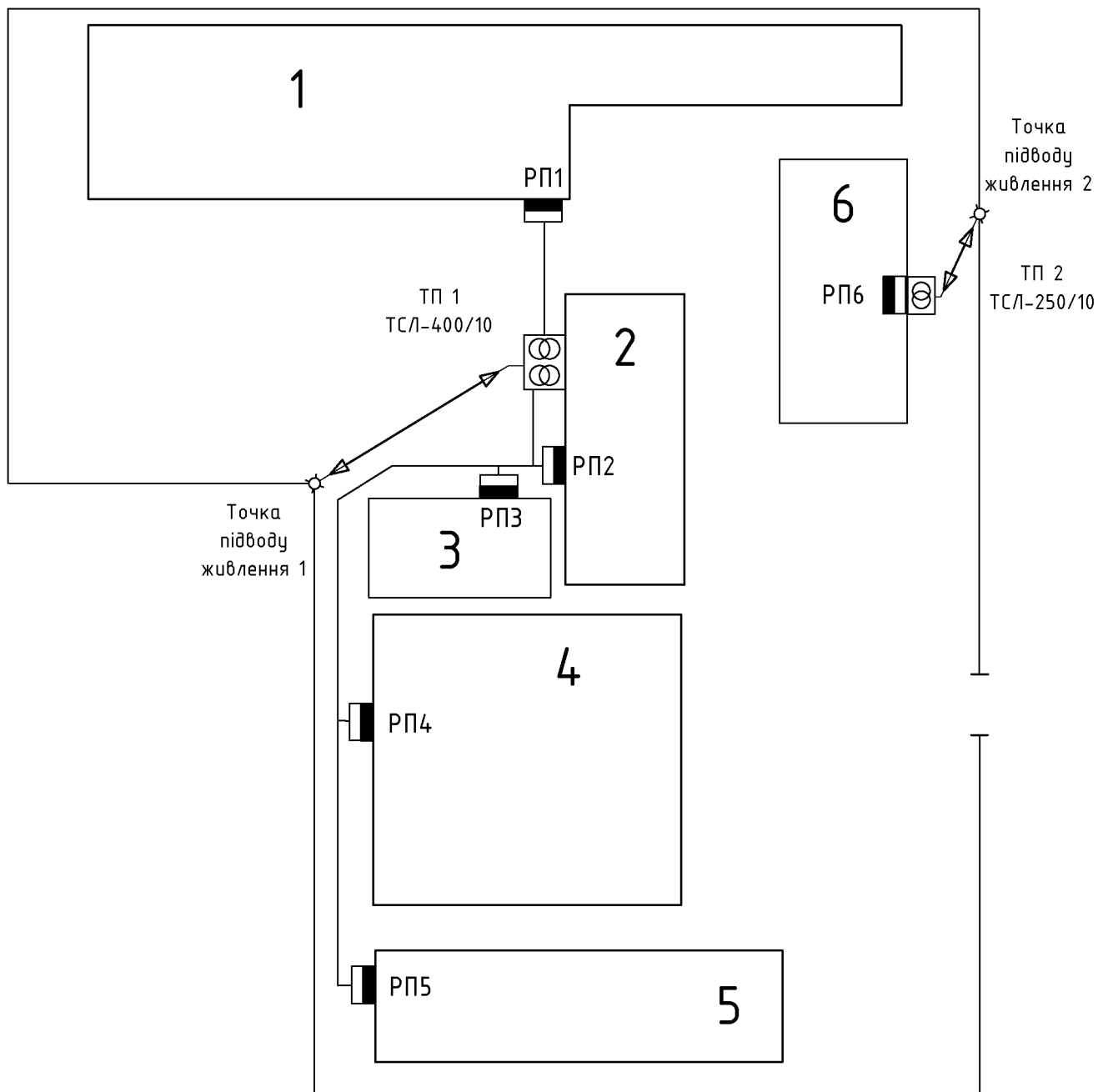


Рисунок 1.1 – Генеральний план підприємства ТОВ "Фавор"

					<i>MP 5.8.141.291 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		11

Металева упаковка для аерозолів є відповідальним сегментом виробництва. Дана продукція повинна витримувати досить високий тиск: 12; 15; 18 Бар. Тому для виготовлення аерозольної упаковки застосовується сучасне та високопродуктивне обладнання, а з метою контролю тиску проводяться відповідні випробування на спеціалізованому обладнанні.

Лінія з виготовлення аерозольної упаковки починається з установки автоматичної повздовжньо-поперечної різки Duplex Slitter Ceras 110 MK2 CAR (Ceras Soudronic Group) потужністю 5 кВт, що призначена для повздовжньої та поперечної нарізки листів металу товщиною до 0,4 мм.

Автоматична машина для зварки корпусу аерозольного балону Soundric AFB 115 (CSG) потужністю 7 кВт призначена для безперервної зварки циліндрів балонів.

Автоматичний транспортер для переміщення заготовки балона Ceras (CSG) потужністю 0,5 кВт та стрічково-пластинчастий конвеєр С.М.М. (Mesta) потужністю 0,5 кВт з'єднують зварювальну машину із завальцовочною машиною.

Автоматична двостороння машина для збирання і завальцовування балона Lanico BF2 80 AE потужністю 4,5 кВт призначена для завальцовування горлечка та дна на циліндр балона з автоматичною подачею заготовок та викидом готового балона на транспортер.

Автоматична система транспортування балона С.М.М. (Mesta) потужністю 0,5 кВт з'єднує завальцовувальну машину з тестером герметичності.

Тестер герметичності готового аерозольного балона Bonfiglioli KBA-07216 SX (Bonfiglioli Engineering S.r.L.) потужністю 5 кВт призначений для перевірки герметичності балона в автоматичному режимі для абсолютного контролю якості продукції.

Автоматична система транспортування балона С.М.М. (Mesta) потужністю 0,5 кВт переміщує готову продукцію в зону упаковки.

Крім того в цеху знаходиться лінія літографування жерсті, що здійснюється на потужній чотириколірній лінії KBA – MetalPrint. Літографування жерсті – це багатоступінчастий процес нанесення на білу жерсть малюнка, який замінює

					<i>MP 5.8.14.1.291 ПЗ</i>	Арк.
						12
<i>Змн.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

паперову етикетку.

Першим електроприймачем лінії літографування є швидкісний подавач листів (0,1 мм) DriveTronic потужністю 0,5 кВт, що здійснює плавний і безперервний підйом стопки металевих листів для гарантування постійної висоти їх зняття.

Система приводки KunziMatic потужністю 0,5 кВт призначена для точного вирівнювання листів жести та їх подачі від входу до першого циліндру для друку з допомогою барабана.

Далі слідує складна система друку, що складається з черги фарбувальних апаратів, апаратів очистки, автоматичних змінювачів форм та проміжних ультрафіолетових осушувачів (далі – УФ-осушувачів).

Система фарбувальних апаратів потужністю 4,0 кВт кожен забезпечують почергове нанесення шару фарби обраного кольору, який висушують шляхом пропускання листа металу через проміжний УФ-осушувач з потужністю випромінювання лампи 160 Вт/см. УФ-осушувач містить в своєму складі рефлектор, що одночасно виконує функцію охолоджувача з метою відведення надлишкового тепла, що виникає в процесі сушки фарби.

Кожен модуль фарбувального апарату обладнаний окремими апаратами очистки офсетних полотен, потужністю 3,5 кВт, а також автоматичними змінювачами форм потужністю 5,0 кВт. Кожен з цих електроприймачів обладнаний окремим електроприводом, що дозволяє зокрема здійснювати одночасне очищення накатних фарбувальних валиків, офсетного полотна чи друкувального циліндра, а також здійснювати паралельні підготовчі процеси в якості основи надшвидкісної підготовки.

Анілоксова лакувальна машина потужністю 6,0 кВт виконує покриття лаком готового пофарбованого листа металу.

З пульта управління ErgoTronic на базі Windows здійснюється централізоване управління всім процесом друку. З допомогою обладнання потужністю 2 кВт можна здійснювати наступні операції: зберігання всіх параметрів друку, для повторного виконання робіт, дистанційне керування приводом, управління

					<i>MP 5.8.14.1.291 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		13

периферійними системами, а також вивід на дисплей пробних зображень.

Система DensiTronic Professional потужністю 2,0 кВт – це система вимірювання для оперативного контролю якості друку. Має окремий інтерфейс для передачі даних про процес друку в прес для попередньої установки модулів фарби. Також система обладнана датчиками, що здатні вимірювати інтенсивність кольору в контрольних полосах з подальшим розрахунком корегувань та передачею їх в модуль для друку.

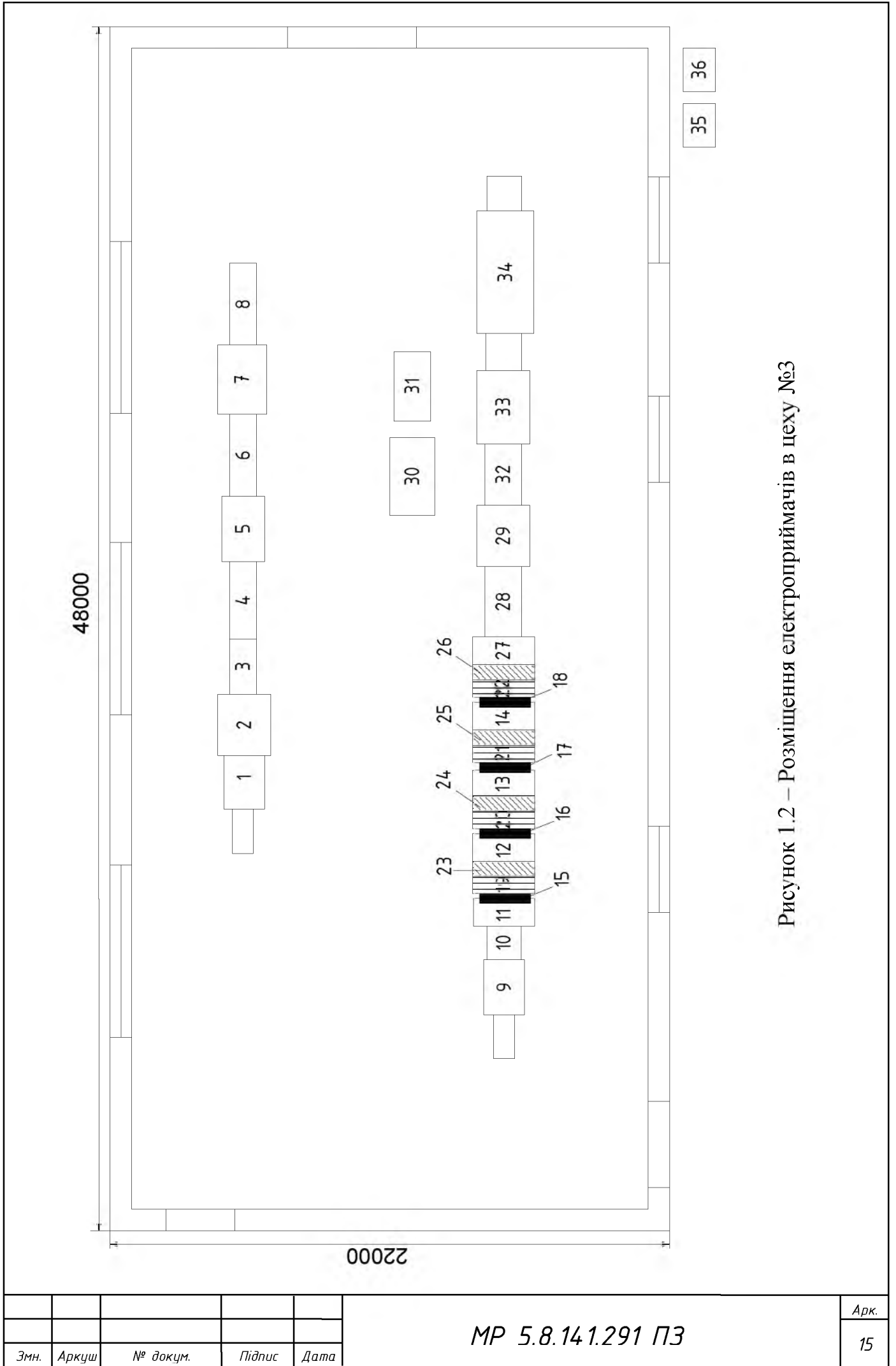
Фінішний УФ-осушувач обладнаний лампою потужністю 160 Вт/см для контрольного закріплення фарби та лаку на поверхні.

Система управління листами SMS потужністю 4,5 кВт призначена для огляду надрукованих листів, їх повторної вставки, а також вилучення бракованої продукції.

Модульний штабелер потужністю 5,5 кВт виконує функцію укладання та накопичення листів, а підвісні системи транспортування забезпечують безпечне штабелювання готової продукції.

Розміщення обладнання в цеху показане на рис. 1.2, список обладнання та деякі розрахункові коефіцієнти наведені в табл. 1.1.

					<i>MP 5.8.14.1.291 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		14



35 36

Рисунок 1.2 – Розміщення електроприймачів в цеху №3

Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата

MP 5.8.14.1.291 ПЗ

Таблиця 1.1 – Потужність та деякі розрахункові коефіцієнти електроспоживачів цеху

№ п/п	Найменування електроприймача	Марка ЕП	Номинальна потужність, кВт	Кількість ЕП, шт.	$\cos\varphi$	k_e
1	Автоматична установка повздовжньо-поперечної різки	Duplex Slitter Серас 110 МК2	5,0	1	0,72	0,8
2	Автоматична машина для зварки корпусу аерозольного балону	Soundric AFB 115	7,0	1	0,74	0,82
3	Транспортер	Серас	0,5	1	0,75	0,8
4,6,8	Стрічково-пластинчастий конвеєр	С.М.М. (Mecta)	0,5	3	0,75	0,8
5	Автоматична двостороння машина для збірки і завальцовування балона	Lanico BF2 80 AE	4,5	1	0,86	0,81
7	Тестер герметичності аерозольного балона	Bonfiglioli KBA-07216	5,0	1	0,8	0,78
9	Швидкісний подавач листів	DriveTronic	0,5	1	0,7	0,78
10	Система приводки	KunziMatic	0,5	1	0,7	0,76
11-14	Фарбувальний апарат	KBA	4,0	4	0,8	0,65
15-18	Система очистки офсетних полотен	CleanTronik	3,5	4	0,79	0,6
19-22	Автоматичний змінювач форми	DriveTronic SPC	5,0	4	0,8	0,65
23-26	Проміжний УФ-осушувач	KBA	16	4	0,8	1,0
27	Анілоксова лакувальна машина	Metal Star 3 (KBA)	6,0	1	0,75	0,78
28,32	Транспортер	KBA	0,5	2	0,7	0,78
29	Фінішний УФ-осушувач	KBA	16	1	0,8	1,0
30	Пульт управління	ErgoTronik	2,0	1	0,88	1,0
31	Система контролю якості друку	DensiTronik Professional	2,0	1	0,87	1,0
33	SMS-система управління листами	KBA	4,5	1	0,81	0,78
34	Модульний штабелер	KBA	5,5	1	0,8	0,78
35,36	Вентилятор витяжний		2,0	2	0,8	1,0

Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата

MP 5.8.14.1.291 ПЗ

Арк.

16

2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ ЦЕХУ

Електричне освітлення виробничих приміщень є загальним рівномірним і виконується світильниками, які розподіляють рівномірно між окремими фазами трифазної електричної мережі. Тому електричне освітлення можна розглядати як трифазне навантаження.

Розрахункове навантаження загального електричного освітлення цеху визначається методом коефіцієнта попиту [1–4]. Для цього слід розрахувати встановлене (номінальне) навантаження загального освітлення цеху $P_{уст.о}$, яке визначається світлотехнічним розрахунком за допомогою метода коефіцієнта використання світлового потоку або за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення.

Розраховуємо освітлювальну установку в приміщенні, розміри якого становлять: довжина – $A = 48,0$ м, ширина – $B = 22,0$ м, висота – $H = 4,2$ м.

У приміщенні цеху проектом передбачаємо технологічне освітлення за допомогою якого забезпечується нормована освітленість на робочих місцях.

Враховуючи світлотехнічні характеристики та економічність існуючих джерел світла та згідно рекомендацій діючих нормативних актів у галузі будівництва, використовуємо металогалогенні лампи.

Для освітлення виробничого приміщення приймаємо систему загального рівномірного освітлення (тип кривої сили світла світильників – Д).

Враховуючи умови навколишнього середовища проєктованого приміщення, користуючись каталогом виробника Вагра обираємо світильник з металогалогенними лампами типу ГСП04В-250 [5].

Величину нормованої освітленості для цеху залежно від призначення виробничого приміщення та типу прийнятого джерела світла обираємо за ДБН В.2.5-28-2018 [6]. Нормоване значення освітлення для виробничого приміщення при загальному освітленні та використанні газорозрядних ламп складає 300 лк.

При проєктуванні електроосвітлювальних установок враховуємо, що число,

					<i>MP 5.8.14.1.291 ПЗ</i>	Арк.
						17
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

розміщення і спосіб установки світильників повинні забезпечувати нормовані рівні освітлення при найменших приведених затратах, мережа електричного освітлення повинна мати найменшу довжину і бути зручною у монтажі індустріальним методом.

Згідно ПУЕ [1] мінімальна висота підвісу світильника становить $h_{c.min} = 2,5$ м, приймаємо висоту підвісу світильника $H = 4,2$ м.

Визначаємо відстань між світильниками в елементарному полі за формулою:

$$L = h \cdot \lambda_c, \quad (2.1)$$

де h – розрахункова висота від умовної робочої поверхні до світильника, м;
 λ_c – відносна відстань між світильниками, що визначає найвигіднішу відстань між світильниками для створення найбільш рівномірного освітлення.

Розрахункова висота визначається за виразом:

$$h = H - h_c - h_p, \quad (2.2)$$

де h_c – відстань від світильника до перекриття (звис), приймаємо $h_c = 0$ м;
 h_p – розрахункова висота світильників над робочою поверхнею, $h_p = 0,8$ м;
 Приймаємо для світильників з кривою сили світла типу Д $\lambda_c = 1,4$ [7].

$$h = H - h_c - h_p = 4,2 - 0 - 0,8 = 3,4 \text{ м},$$

$$L = 3,4 \cdot 1,4 = 4,76 \text{ м}.$$

Використовуючи розмір елементарного світлового поля, визначається розміщення світильників у приміщенні.

Визначаємо кількість рядів світильників N_B за виразом:

$$N_B = \frac{B - 2l}{L} + 1 = \frac{B}{L} + \frac{1}{3}, \quad (2.3)$$

де B – ширина приміщення, м;

					MP 5.8.14.1.291 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_B = \frac{22}{4,76} + \frac{1}{3} = 4,95 \text{ шт.}$$

Приймаємо $N_B = 5$ рядів світильників.

Визначаємо кількість світильників у ряді зі співвідношення:

$$N_A = \frac{A - 2l}{L} + 1 = \frac{A}{L} + \frac{1}{3}, \quad (2.4)$$

де A – довжина приміщення, м;

$$N_A = \frac{48}{4,76} + \frac{1}{3} = 10,41 \text{ шт.}$$

Приймаємо $N_A = 10$ світильників у ряді.

Загальна кількість світильників становить

$$N = N_B \cdot N_A, \quad (2.5)$$

$$N = 5 \cdot 10 = 50 \text{ шт.}$$

Розраховуємо коефіцієнт використання світлового потоку η за формулою:

$$\eta = \eta_c \cdot \eta_n, \quad (2.6)$$

де η_c – ККД світильника 67% (технічні характеристики світильника ГСП04В з металогалогенною лампою НРІ Plus);

η_n – ККД приміщення. Залежить від типу світильника (його ККД і кривої сили світла), коефіцієнтів відбиття стелі ρ_{cm} , стін ρ_c , робочої поверхні ρ_p приміщення, а також від індексу приміщення i , що враховує співвідношення площі приміщення, висоти і його форми:

Визначаємо індекс приміщення:

					<i>MP 5.8.14.1.291 ПЗ</i>	Арк.
						19
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$i = \frac{A \cdot B}{h(A + B)}, \quad (2.7)$$

$$i = \frac{48 \cdot 22}{3,4 \cdot (48 + 22)} = 4,44.$$

Визначаємо з [7] (табл. 8.1) значення ККД приміщення при $\rho_{cm} = 70$; $\rho_c = 50$; $\rho_p = 10$;

$$\eta_{n1} = 0,78; \quad i_1 = 3;$$

$$\eta_{n2} = 0,85; \quad i_2 = 5;$$

$$\eta_n = \eta_{n1} + \frac{i - i_1}{i_2 - i_1} \cdot (\eta_{n2} - \eta_{n1}) = 0,83;$$

$$\eta = 0,67 \cdot 0,83 = 0,556$$

Визначаємо світловий потік лампи, необхідний для забезпечення заданої мінімальної освітленості:

$$\Phi_{\lambda} = \frac{E \cdot S \cdot z \cdot k}{N \cdot \eta}, \text{ лм} \quad (2.8)$$

де E – нормоване значення освітленості;

S – площа робочої поверхні;

z – коефіцієнт мінімальної освітленості. Значення z для освітлювальних установок, у яких можна не враховувати затемнення устаткуванням робочих місць, залежить від відношення L/h . Для точкових джерел світла рекомендується $z = 1,15$.

k – коефіцієнт запасу, який враховує зниження освітленості в процесі експлуатації в результаті зменшення світлового потоку джерела світла в процесі горіння, зниження ККД світильників та у результаті забруднення поверхонь приміщення;

$$\Phi_{\lambda} = \frac{300 \cdot 48 \cdot 22 \cdot 1,15 \cdot 1,5}{50 \cdot 0,556} = 19657 \text{ лм.}$$

					MP 5.8.14.1.291 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Використовуючи каталог продукції фірми Philips [8] обираємо металогалогенну лампу типу HPI-Plus потужністю 250 W з світловим потоком $\Phi_l = 18000$ лм. Світловий потік обраної лампи повинен дорівнювати або відрізнятись від розрахункового не більше ніж на $-10...+20\%$.

Відхилення світлового потоку обраної лампи від розрахункового становить:

$$\delta = \frac{\Phi_l - \Phi_p}{\Phi_p} \cdot 100\% = \frac{18000 - 19657}{19657} \cdot 100\% = -8,4\%$$

Це відхилення лежить в діапазоні $-10...+20\%$, що вказує на правильний вибір потужності лампи в світильнику.

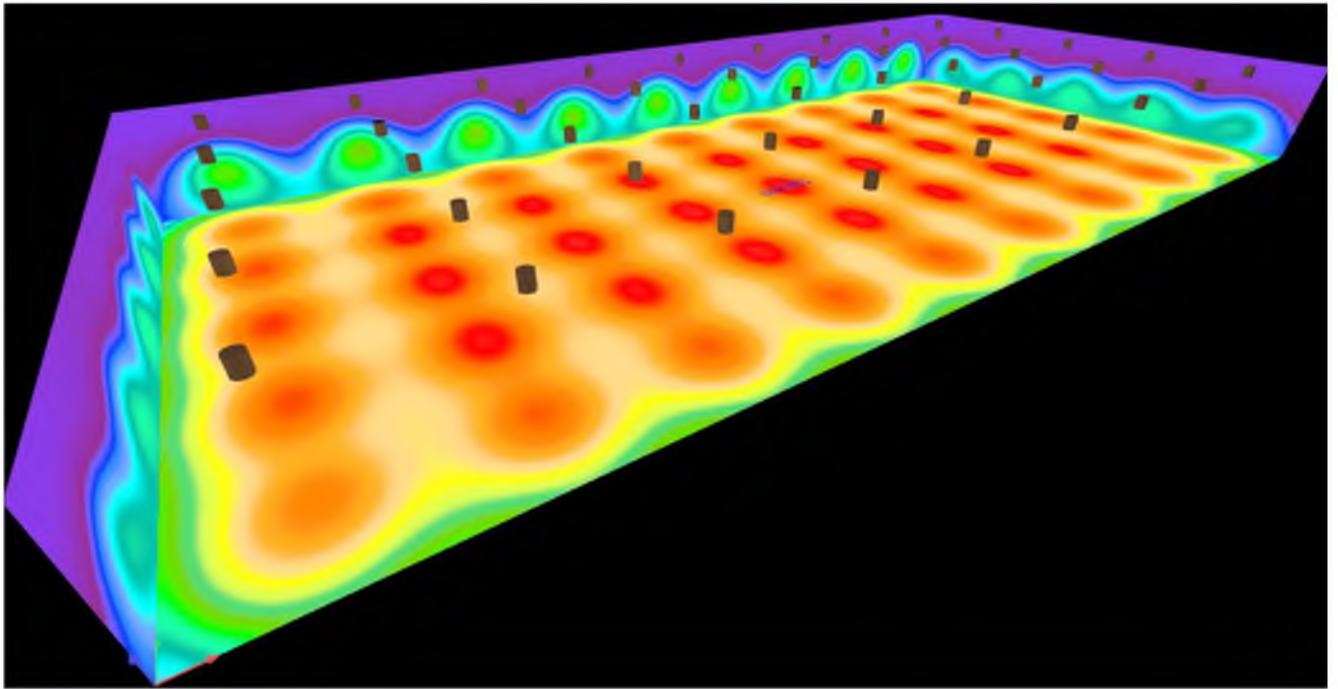
Для порівняння проведемо розрахунок електричного освітлення цеху №3 за допомогою програми DiaLux Evo. В проекті програми створюємо план приміщення, що відповідає геометричним розмірам цеху. Виходячи з необхідного рівня освітленості який ми повинні забезпечити на робочій поверхні шляхом аналізу світового розподілу знаходимо найбільш оптимальне розташування світильників (рис. 2.1).

Програма DiaLux Evo визначає освітленість по всіх точках робочої поверхні, причому враховуються світлові потоки від всіх світильників, а також світлові потоки відбиті від поверхонь приміщення.

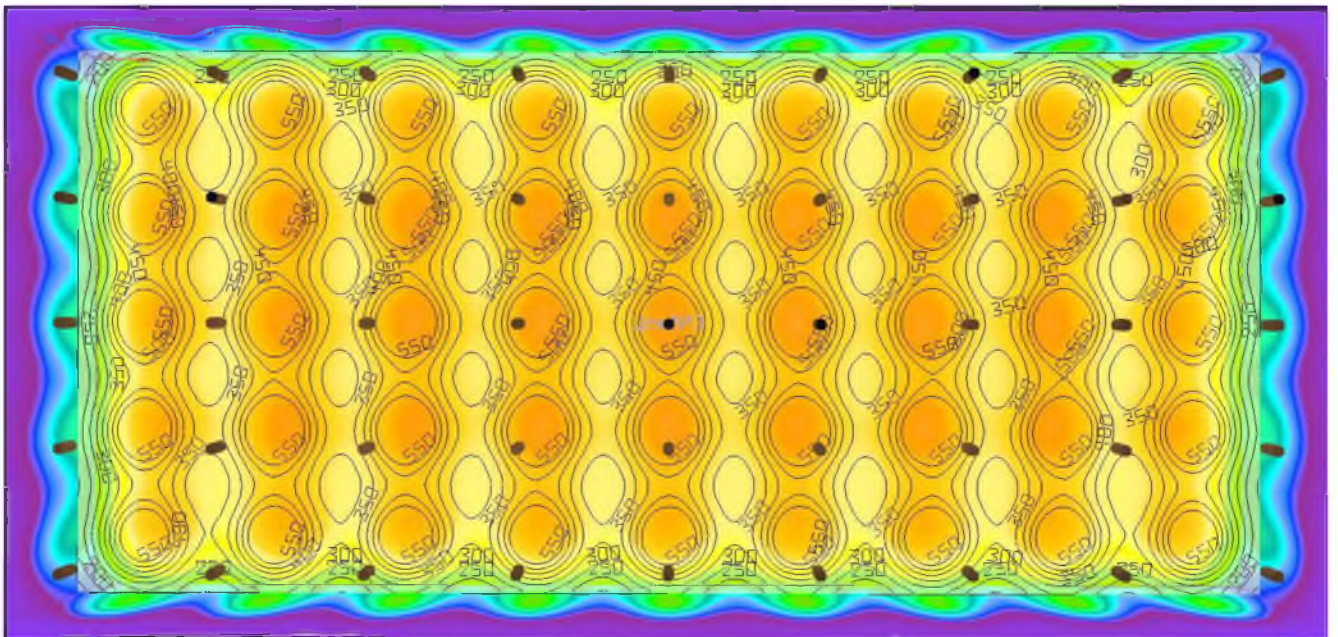
Проведений розрахунок, відповідно до рис. 2.1, визначає такі оптимальні параметри освітлювальної установки: $N_B = 5$ шт, $N_A = 9$ шт.

Для порівняння різних джерел світла на техніко-економічні показники проекту додатково в програмі DiaLux Evo проведений розрахунок електричного освітлення цеху з використанням промислових світлодіодних світильників типу RCA BY235P LED200. Результати розрахунку представлені на рис. 2.2.

					<i>MP 5.8.141.291 ПЗ</i>	Арк.
						21
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		



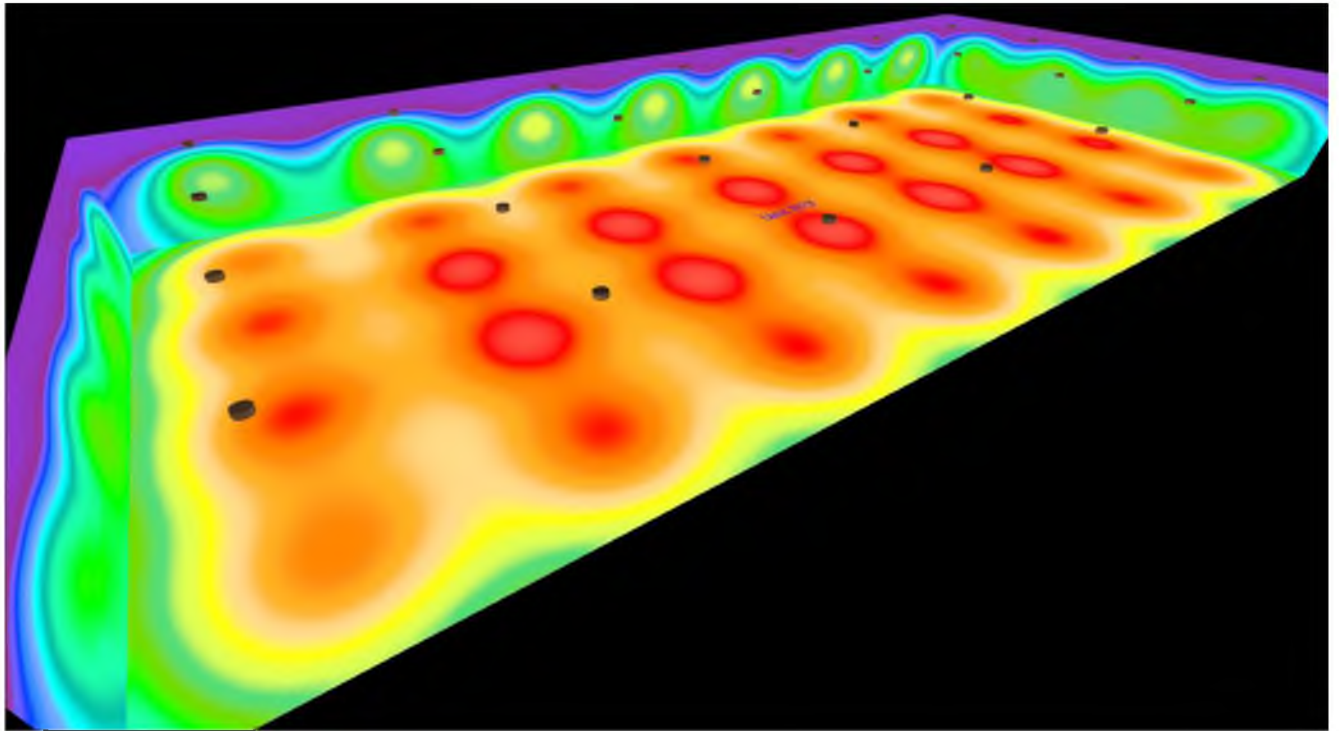
a



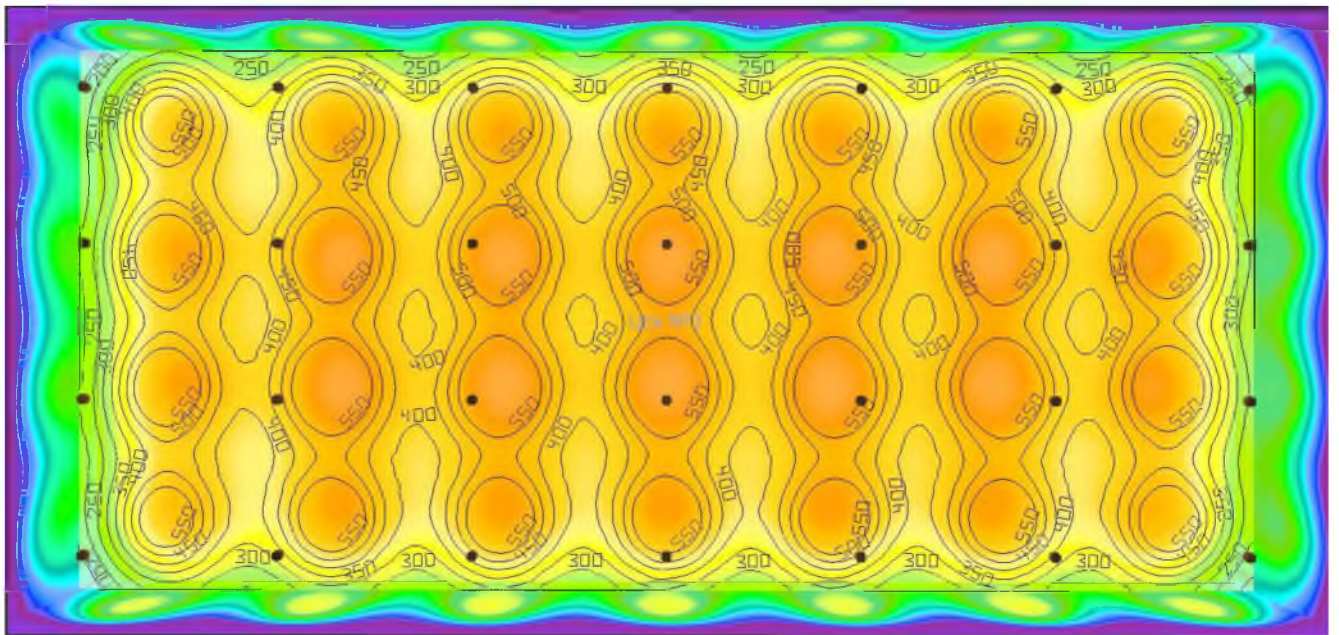
б

Рисунок 2.1 – Результати розрахунку освітлення цеху в програмі DiaLux з використанням світильників ГСП04В з лампою HPI-Plus 250 W
a – 3D-візуалізація; *б* – ізолюкси на робочій поверхні

					<i>MP 5.8.141.291 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		22



a



б

Рисунок 2.2 – Результати розрахунку освітлення цеху в програмі DiaLux з використанням світильників RCA BY235P LED200
a – 3D-візуалізація; *б* – ізолюкси на робочій поверхні

					<i>MP 5.8.14.1.291 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		23

Як видно з рис. 2.2 при використанні світлодіодних світильників заданий рівень освітленості досягається при меншій їх кількості за рахунок більшої світлової віддачі: $N_B = 4$ шт, $N_A = 7$ шт.

За результатами проведених розрахунків в програмі DiaLux Evo кількість світлодіодних світильників найменша. Таким чином для подальшого розрахунку будемо використовувати світильники RCA BY235P LED200 за допомогою яких можна виконати найбільш енергоефективну освітлювальну установку.

Уточнюємо відстань між світильниками і рядами для прийнятої кількості розташування світильників на плані цеху.

Згідно формули (2.4) відстань між світильниками в ряді:

$$L_A = \frac{A - 2 \cdot l_A}{N_A - 1}, \quad l_A = \frac{1}{3} \cdot L_A, \quad (2.9)$$

$$L_A = \frac{A - \frac{2L_A}{3}}{N_A - 1} = \frac{A}{N_A - 1} - \frac{2L_A}{3(N_A - 1)} = \frac{3A}{3N_A - 1} = \frac{A}{N_A - 1/3} = \frac{48}{7 - 1/3} = 7,2 \text{ м,}$$

$$l_A = \frac{1}{3} \cdot L_A = 2,4 \text{ м;}$$

Відстань між рядами світильників:

$$L_B = \frac{B}{N_B - 1/3} = \frac{22}{4 - 1/3} = 6,0 \text{ м,}$$

$$l_B = \frac{1}{3} \cdot L_B = 2,0 \text{ м.}$$

Технічні характеристики світильника RCA BY235P наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики світильника

Тип світильника	Потужність світ., Вт	Світловий потік світ., лм	Якість та колір джерела	Коефіцієнт потужності	Тривалість роботи, годин	Розміри світ. DxH, м
RCA BY235P	200	20000	840	0,9	L70B50 – 30000 L90B50 – 30000	0,39x0,147

Для аварійного освітлення нормоване значення освітленості [6] повинно становити не менше 5% освітленості, нормованої для робочого освітлення при системі загального освітлення, але бути не менше 2 лк усередині приміщення. При цьому найменша освітленість усередині приміщень повинна бути не більше 30 лк. Виходячи з цього приймаємо значення освітленості для аварійного освітлення цеху на рівні $E_a = 30$ лк.

Визначаємо кількість світильників аварійного освітлення RCA BY235P використовуючи формулу (2.8) та враховуючи, що ККД світлодіодного світильника $\eta_c = 0,9$:

$$\eta = \eta_c \cdot \eta_n = 0,9 \cdot 0,83 = 0,747.$$

$$N = \frac{E \cdot S \cdot z \cdot k}{\Phi_n \cdot \eta} = \frac{30 \cdot 22 \cdot 48 \cdot 1,15 \cdot 1,5}{20000 \cdot 0,747} = 3,66 \approx 4 \text{ шт.}$$

Розміщення світильників на плані цеху зображено на рис. 2.3.

У додатку Г наведена схема освітлювальної мережі цеху.

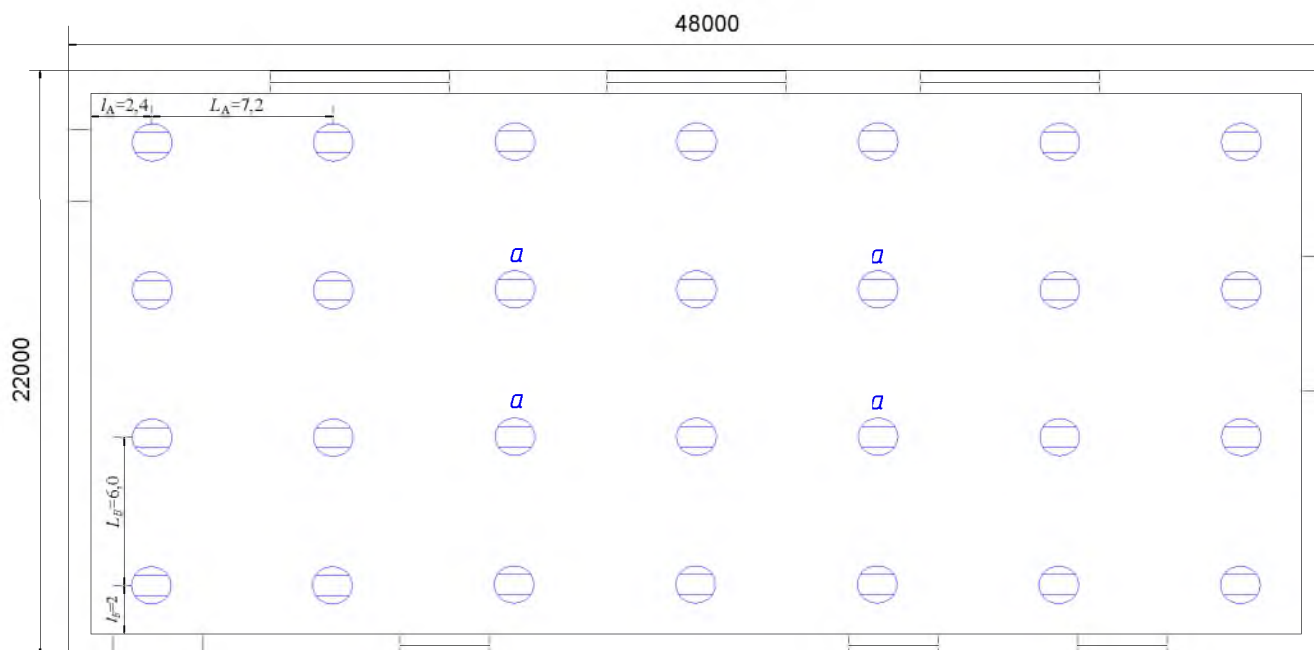


Рисунок 2.3 – Схема розміщення світильників цеху №3

					MP 5.8.14.1.291 ПЗ	Арк.
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		25

3. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЦЕХУ

Тепло, яке виділяється під час проходження струму через опір електричного кола, викликає нагрівання всіх струмопровідних частин (провідників та ЕА). В результаті цього процесу відбувається старіння ізоляції, а у випадку перевищення величини струму визначеної величини, відбувається її пошкодження. Тому розрахункове навантаження, яке характеризує нагрівання, є основним параметром під час вибору всіх елементів електричної мережі.

Розрахункове навантаження споживача або елемента мережі (активне P_p , реактивне Q_p , повне S_p , струм I_p) необхідне: для вибору перерізу струмопровідних частин (кабелів, шинопроводів, проводів, тощо), номінального струму ЕА, потужності силових трансформаторів, пристроїв компенсації реактивної потужності і перетворювачів; для визначення втрат і відхилень напруги, втрат потужності та електроенергії.

Кожен ЕП характеризується номінальними параметрами, які забезпечують йому найбільший коефіцієнт корисної дії (ККД) та гарантують безвідмовну його роботу протягом гарантованого строку. Основною характеристикою кожного ЕП є його номінальна потужність (вказана в паспорті), на яку він розрахований при тривалому режимі роботи і за інших номінальних параметрів: напруга, частота струму, коефіцієнт потужності.

Пусковий та піковий струми необхідні для вибору уставок розчеплювачів автоматів та плавких вставок запобіжників, визначення розмаху зміни напруги для оцінки допустимості коливань напруги та перевірки можливості самозапуску ЕД. Піковий струм - це максимальний короткочасний струм тривалістю в кілька секунд.

Вихідні дані для розрахунку навантажень [3]:

- установлена (номінальна) потужність ЕП (для ЕД – його активна потужність, для трансформаторів дугового і машин контактного зварювання – повна потужність);
- номінальна напруга ЕП;
- коефіцієнт потужності ЕП;

					<i>MP 5.8.14.1.291 ПЗ</i>	Арк.
						26
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

- режим роботи ЕП (тривалий, ТВ для ЕП повторно-короткотривалого режиму, короткочасний);
- коефіцієнт використання активної потужності;
- кількість фаз ЕП (трифазний або однофазний);
- спосіб приєднання однофазного ЕП (на фазну або лінійну напругу).

Установлена (номінальна) потужність ЕП приймається рівною [2]:

- для ЕД тривалого режиму роботи та всіх видів нагрівальних ЕП – паспортній потужності:

$$P_n = P_{насп}, \quad (3.1)$$

де $P_{насп}$ – номінальна потужність на валу ЕД, кВт;

- для ЕД повторно-короткочасного режиму роботи - паспортній потужності (кВт), приведений до відносної ТВ = 1,

$$P_n = P_{насп} \cdot \sqrt{ТВ_{П}}, \quad (3.2)$$

де $ТВ_{П}$ – паспортна тривалість вмикання, в.о;

- для зварювальних трансформаторів:

$$S_n = S_{насп} \cdot \sqrt{ПВ_{П}}, \quad (3.3)$$

$$P_n = S_{насп} \cdot \sqrt{ПВ_{П}} \cdot \cos \varphi_{насп}, \quad (3.4)$$

де $\cos \varphi_{насп}$ – паспортне значення коефіцієнта потужності;

- для кранів номінальні активна та реактивна потужності визначаються як для одного ЕП з сумарною номінальною потужністю:

$$P_n = \sum_{i=1}^n P_{n,i}, \quad (3.5)$$

					MP 5.8.14.1.291 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_n = \sum_{i=1}^n q_{n,i} = \sum_{i=1}^n p_{n,i} \operatorname{tg} \varphi_i, \quad (3.6)$$

де n – кількість ЕД крана;

$p_{n,i}$ – номінальна активна потужність i -го ЕП;

$\operatorname{tg} \varphi_i$ – відповідає значенню коефіцієнта потужності $\cos \varphi_i$ i -го ЕП.

У проєктованій внутрішньоцеховій системі електропостачання, при розрахунку навантаження виділяють три рівні за характером формування навантаження: перший, другий та третій.

Перший рівень електропостачання – це електричні мережі напругою до 1 кВ, які приєднують окремі ЕП до силових розподільчих шаф.

Другий рівень електропостачання – це електричні мережі напругою до 1 кВ, які живлять силові розподільчі шафи від збірних шин НН ТП або ввідного розподільчого пристрою.

Третій рівень – це збірні шини НН цехових ТП або ввідного розподільчого пристрою.

Рівні визначення розрахункових навантажень наведені на рис. 3.1.

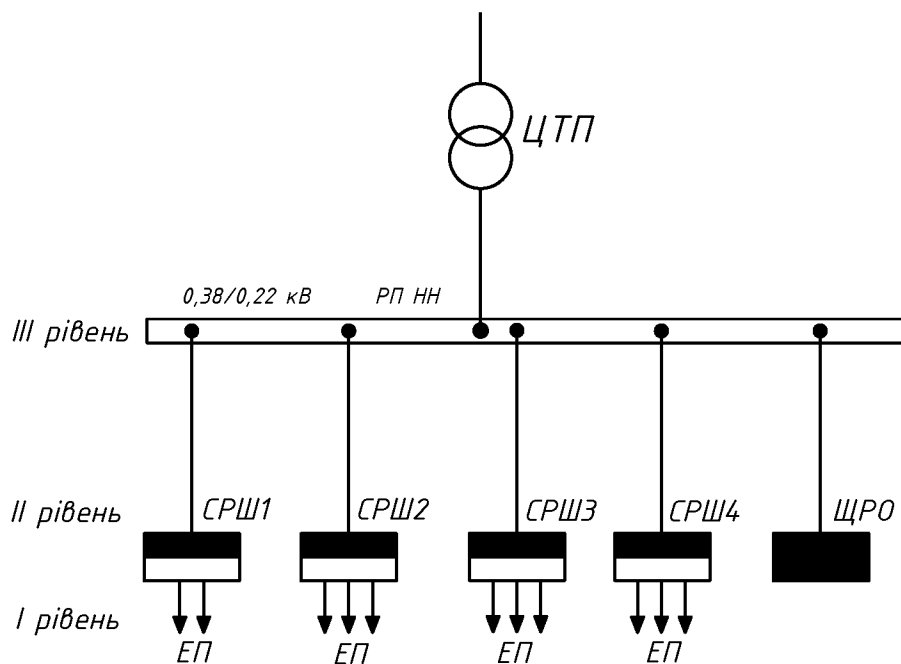


Рисунок 3.1 – Схема живлення електроприймачів цеху №3 для розрахунку електричних навантажень

					MP 5.8.14.1.291 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

3.1 Визначення розрахункового силового навантаження цеху на першому рівні електропостачання

На першому рівні електропостачання навантаження на лінію (провід, кабель) створюється одним ЕП, тому для всіх таких приєднань при відомому фактичному коефіцієнті завантаження k_3 ЕП розрахункові активні та реактивні навантаження першого рівня електропостачання визначаються за формулами:

$$P_{p.1} = k_3 \cdot P_{ном} \quad (3.7)$$

$$Q_{p.1} = Q_{ном} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (3.8)$$

$$S_{p.1} = \sqrt{P_{p.1}^2 + Q_{p.1}^2}, \quad (3.9)$$

$$I_{p.1} = \frac{S_{p.1}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (3.10)$$

де $\operatorname{tg} \varphi$ – відповідає паспортному значенню коефіцієнта потужності $\cos \varphi$, яке характерне для даного ЕП;

$U_{ном}$ – номінальна напруга електричної мережі до 1 кВ.

Якщо фактичний коефіцієнт завантаження k_3 ЕП невідомий, то при проектуванні приймається $k_3 = 1$. Таким чином, за розрахункове активне навантаження приймається номінальна потужність ЕП при $TВ = 1$.

Номінальний струм ЕД визначається як:

$$I_{ном.д} = \frac{P_{ном.д}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi_{ном.д} \cdot \eta_{ном.д}}, \quad (3.11)$$

де $P_{ном.д}$ – номінальна активна потужність ЕД;

$\cos \varphi_{ном.д}$ – номінальний коефіцієнт потужності ЕД;

$\eta_{ном.д}$ – номінальний коефіцієнт корисної дії (ККД) ЕД.

					MP 5.8.141.291 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Величини $\cos \varphi_{ном.д}$ і $\eta_{ном.д}$ приймаються з каталогів заводів-виробників і довідників [2,9]. У разі відсутності паспортних даних ЕД їх коефіцієнт потужності можна прийняти з [10,11] або з таблиці К.1 додатка К [1], а номінальний ККД – $\eta_{ном.д} = 1$.

Доцільно для кожного ЕП обчислити його пусковий струм:

$$I_{пуск} = k_{пуск} \cdot I_{ном.ЕП} \quad (3.12)$$

де $k_{пуск}$ – коефіцієнт пуску;

$I_{ном.ЕП}$ – номінальний струм ЕП.

Для конкретних ЕП коефіцієнти пуску приймають за паспортними даними. Якщо вони відсутні, то щодо номінального струму ЕП величина пускового струму приймається:

- 5-кратною для асинхронних двигунів (АД) з короткозамкненим ротором та синхронних двигунів (СД);
- 2,5-кратною для двигунів постійного струму та АД з фазним ротором;
- 3-кратною для зварювальних і пічних трансформаторів, машин контактного зварювання при максимальній вторинній напрузі [2].

3.1.1 Визначення розрахункових навантажень на першому рівні електропостачання для гвинтового реверсивного конвеєра.

Для фінішного УФ-осушувача (ЕП № 29) за формулою (3.7) при прийнятому $k_3 = 1$ розрахункове активне навантаження на першому рівні електропостачання:

$$P_{р.1} = P_{ном.д} = 1 \cdot 16 = 16 \text{ кВт.}$$

За формулою (3.8) при прийнятому коефіцієнті реактивної потужності $tg \varphi = 0,75$, який відповідає заданому коефіцієнту активної потужності $\cos \varphi = 0,8$, розрахункове реактивне навантаження на першому рівні електропостачання для ЕП № 29:

					<i>MP 5.8.141.291 ПЗ</i>	Арк.
						30
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$q_{p.1} = q_{ном.д} = 16 \cdot 0,75 = 12 \text{ кВАр.}$$

Для фінішного УФ-осушувача за формулою (3.9) розрахункове повне навантаження на першому рівні електропостачання:

$$s_{p.1} = \sqrt{P_{p.1}^2 + q_{p.1}^2} = \sqrt{16^2 + 12^2} = 20 \text{ кВА.}$$

Для даного електроприймача за формулою (3.10) визначається розрахунковий струм першого рівня електропостачання:

$$I_{p.1} = \frac{20}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 30,39 \text{ А.}$$

За неповними вихідними даними, які при проектуванні беруться із завдань технологів (наводиться найменування устаткування та його встановлена потужність), для фінішного УФ-осушувача приймаємо коефіцієнт пуску $k_{пуск} = 5$.

Визначаємо пусковий струм за формулою (3.12)

$$I_{пуск} = 5 \cdot 30,39 = 151,93 \text{ А.}$$

Отримані за формулами (3.7) - (3.12) результати розрахунків для фінішного УФ-осушувача (ЕП № 29), а також для інших ЕП цеху, наводяться в таблиці 3.1.

					<i>MP 5.8.14.1.291 ПЗ</i>	Арк.
						31
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 – Розрахункове силове навантаження на першому рівні електропостачання

№ за планом	Найменування електроприймача	$P_{ном}$, кВт	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	Розрахункові дані				
					$P_{р.1}$, кВт	$Q_{р.1}$, кВАр	$S_{р.1}$, кВА	$I_{р.1}$, А	$I_{пуск}$, А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Автоматична установка повздовжньо-поперечної різки	5,0	0,72	0,96	5	4,82	6,94	10,55	52,75
2	Автоматична машина для зварювання корпусу аерозольного балону	7,0	0,74	0,91	7	6,36	9,46	14,37	71,86
3	Транспортер	0,5	0,75	0,88	0,5	0,44	0,67	1,01	5,06
4,6, 8	Стрічково-пластинчастий конвеєр	0,5	0,75	0,88	0,5	0,44	0,67	1,01	5,06
5	Автоматична двостороння машина для збирання і завальцовування балона	4,5	0,86	0,59	4,5	2,67	5,23	7,95	39,75
7	Тестер герметичності аерозольного балона	5,0	0,8	0,75	5	3,75	6,25	9,50	47,48
9	Швидкісний подавач листів	0,5	0,7	1,02	0,5	0,51	0,71	1,09	5,43
10	Система приводки	0,5	0,7	1,02	0,5	0,51	0,71	1,09	5,43
11-14	Фарбувальний апарат	4,0	0,8	0,75	4	3,0	5,0	7,60	37,98
15-18	Система очистки офсетних полотен	3,5	0,79	0,78	3,5	2,72	4,43	6,73	33,66
19-22	Автоматичний змінювач форми	5,0	0,8	0,75	5	3,75	6,25	9,50	47,48
23-26	Проміжний УФ-осушувач	16	0,8	0,75	16	12,0	20,0	30,39	151,93
27	Анілоксова лакувальна машина	6,0	0,75	0,88	6	5,29	8,00	12,15	60,77
28, 32	Транспортер	0,5	0,7	1,02	0,5	0,51	0,71	1,09	5,43
29	Фінішний УФ-осушувач	16	0,8	0,75	16	12,0	20,0	30,39	151,93
30	Пульт управління	2,0	0,88	0,54	2	1,08	2,27	3,45	17,27
31	Система контролю якості друку	2,0	0,87	0,57	2	1,13	2,30	3,49	17,46
33	SMS-система управління листами	4,5	0,81	0,72	4,5	3,26	5,56	8,44	42,20
34	Модульний штабелер	5,5	0,8	0,75	5,5	4,13	6,88	10,45	52,23
35,36	Вентилятор витяжний	2,0	0,8	0,75	2	1,50	2,50	3,80	18,99

Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата
------	-------	----------	--------	------

MP 5.8.141.291 ПЗ

Арк.

32

3.2 Визначення розрахункового силового навантаження цеху на другому рівні електропостачання

На другому рівні електропостачання навантаження на живильну лінію створюється групою споживачів, які приєднані до розподільчої шафи. Оскільки одночасно з максимальним навантаженням усі електроприймачі не працюють, то результуюче навантаження завжди менше від суми їх номінальних потужностей і буде більшим від середнього навантаження за максимально завантажену зміну (за малої кількості ЕП) або дорівнювати йому (за значної кількості ЕП), що характеризується коефіцієнтами розрахункових активних навантажень $K_{p.a}$ і розрахункових реактивних навантажень $K_{p.p}$.

Коефіцієнт розрахункових активних навантажень $K_{p.a}$ залежить від ефективного числа електроприймачів n_e , середньозваженого коефіцієнта використання активної потужності $K_{e.cв}$ та сталої часу нагрівання мережі T_0 , яка на другому рівні електропостачання приймається $T_0=10$ хв (розрахунковий інтервал часу $3T_0=30$ хв).

Схема живлення електроприймачів виробничого цеху №3 зображена на рис. 3.1. Згідно зі схемою, електропостачання цеху здійснюється від КТП-1054, що знаходиться на території підприємства, кабельною лінією 0,4 кВ, прокладеною в землі до ввідного розподільчого пристрою РП6. Від нього кабельною проводкою отримують живлення розподільчі шафи СРШ1-СРШ4 та освітлювальний щиток ЩРО.

До розподільчої шафи СРШ1 підключені різні види електроприймачів (Додаток А): електродвигуни металорізального та зварювального верстатів, транспортувальних механізмів, машини для збирання та завальцовування балонів, а також тестеру герметичності балонів (ЕП №1-8). За формулою (3.13) знаходимо сумарну активну номінальну потужність електроприймачів.

Групова номінальна активна потужність i -ї групи ЕП:

					MP 5.8.141.291 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{ном.} = \sum_{i=1}^n p_{н.і}, \quad (3.13)$$

де n – кількість ЕП у групі;

$p_{н.і}$ – номінальна активна потужність i -го ЕП.

Сумарна активна номінальна потужність електроприймачів, що приєднані до СРШ:

$$P_{ном.СРШ1} = 5 + 7 + 0,5 + 1,5 + 4,5 + 5 = 23,5 \text{ кВт.}$$

Для різних груп ЕП, що відрізняються за потужністю та режимом роботи середньо виважений коефіцієнт використання активної потужності:

$$K_{в.св} = \frac{\left(\sum_{i=1}^k k_{в.і} \cdot P_{ном.і} \right)}{\sum_{i=1}^n P_{ном.і}}, \quad (3.14)$$

де k – кількість характерних груп ЕП;

$k_{в.і}$ – індивідуальні коефіцієнти використання окремих ЕП.

Коефіцієнти використання активної потужності k_v приймаємо з таблиці К.1 додатка К [2].

Для розподільчої шафи СРШ1 середньозважений коефіцієнт використання активної потужності

$$K_{в.св} = \frac{(5 + 0,5 + 1,5) \cdot 0,8 + 7 \cdot 0,82 + 4,5 \cdot 0,81 + 5 \cdot 0,78}{23,5} = 0,8$$

Групові коефіцієнти потужності визначаємо за формулами:

					MP 5.8.14.1.291 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\operatorname{tg} \varphi_{\text{ep}} = \frac{\sum_i^n k_{\text{e.i}} \cdot P_{\text{ном.i}} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i}{\sum_i^n k_{\text{e.i}} \cdot P_{\text{ном.i}}}, \quad (3.15)$$

$$\cos \varphi_{\text{ep}} = \cos(\operatorname{arctg} \varphi_{\text{ep}}), \quad (3.16)$$

де $\operatorname{tg} \varphi_i$ – індивідуальні коефіцієнти потужності окремих електроприймачів.

Для розподільчої шафи СРШ1 розраховуємо групові коефіцієнти потужності:

$$\operatorname{tg} \varphi_{\text{СРШ1}} = (5 \cdot 0,8 \cdot 0,96 + 7 \cdot 0,82 \cdot 0,91 + 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,88 + 1,5 \cdot 0,8 \cdot 0,88 + 4,5 \cdot 0,81 \cdot 0,59 + 5 \cdot 0,78 \cdot 0,75) / 18,9 = 0,82$$

$$\cos \varphi_{\text{СРШ1}} = \cos(\operatorname{arctg} \varphi_{\text{СРШ1}}) = \cos(\operatorname{arctg}(0,82)) = 0,77.$$

Аналогічно розраховуємо коефіцієнти потужності для інших груп споживачів виробничого цеху, результати розрахунків заносимо до табл. 3.2.

Середнє за максимально завантажену зміну навантаження являє собою можливий нижній рівень групового навантаження, обумовлений нерівномірним завантаженням у даний момент часу окремих споживачів.

Фактичне значення розрахункового навантаження залежно від кількості споживачів у групі та їх режиму роботи перевищує середнє, якщо розглядаються лише ЕП, або буде нижчим від середнього, якщо враховується ймовірність одночасної роботи всього технологічного устаткування, тобто залежить від рівня в СЕП, на якому визначається навантаження. Тому величину середнього навантаження за максимально завантажену зміну використовують для визначення розрахункового навантаження.

Групове середнє активне навантаження за максимально завантажену зміну i -ї групи електроприймачів визначається за формулою:

$$P_{\text{см.i}} = \sum_i^n k_{\text{e.i}} \cdot P_{\text{ном.i}}, \quad (3.17)$$

					<i>MP 5.8.141.291 ПЗ</i>	Арк.
						35
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

де n – кількість електроприймачів в групі;

$P_{н.і}$ – номінальна активна потужність i -го електроприймача при $TВ=1$;

$k_{е.і}$ – коефіцієнт використання активної потужності i -го ЕП.

Для розподільчої шафи СРШ1 групове середнє активне навантаження

$$P_{см.СРШ1} = (5 + 0,5 + 1,5) \cdot 0,8 + 7 \cdot 0,82 + 4,5 \cdot 0,81 + 5 \cdot 0,78 = 18,89 \text{ кВт.}$$

Сумарне середньо змінне реактивне навантаження для всіх електроприймачів СРШ1 визначається як:

$$Q_{см.СРШ1} = P_{см.СРШ1} \cdot tg\varphi_{зр}, \quad (3.18)$$

$$Q_{см.СРШ1} = 18,89 \cdot 0,82 = 15,50 \text{ кВАр.}$$

Ефективне число ЕП n_e – це така умовна кількість однорідних за режимом роботи ЕП однакової потужності, яка обумовлює те саме значення розрахункового навантаження, як і група ЕП різних за режимом роботи та потужністю. Величина ефективного числа споживачів n_e визначається як:

$$n_e = \frac{\left(\sum_{i=1}^n P_{ном.і} \right)^2}{\sum_{i=1}^n P_{ном.і}^2}, \quad (3.19)$$

де n – кількість працюючих ЕП в групі;

$P_{ном.і}$ – номінальна активна потужність i -го ЕП при $TВ=1$.

Знайдені за формулою (3.19) значення n_e округляються до найближчого меншого цілого числа. Кількість ефективних ЕП n_e приймається рівною дійсному числу ЕП n , якщо відношення потужностей найбільшого до найменшого споживача групи не перевищує 3: ($P_{ном.макс} / P_{ном.мін} = 7 / 0,5 = 14 > 3$).

					<i>MP 5.8.14.1.291 ПЗ</i>	Арк.
						36
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Умова не виконується, тому ефективне число споживачів для СРШ1 визначається за формулою (3.19):

$$n_e = \frac{(23,5)^2}{5^2 + 7^2 + 0,5^2 + 3 \cdot 0,5^2 + 4,5^2 + 5^2} = 4,59 \text{ шт.}$$

Знайдене значення округляємо до найближчого меншого цілого числа $n_e = 4$ шт.

Для наведених вище значень, що отримані для СРШ1 $n_e = 5$ шт. та $K_{\text{в.сб}} = 0,8$ за таблицю К.2 додатка К [1] коефіцієнт розрахункового активного навантаження $K_{p.a} = 1$;

У коефіцієнт розрахункових реактивних навантажень $K_{p.p}$ при числі ефективних ЕП $n_e < 10$ приймається $K_{p.p} = 1,1$, а при $n_e > 10$ приймається $K_{p.p} = 1$. Так як $n_e = 5 < 10$, то приймаємо $K_{p.p} = 1,1$.

На другому рівні електропостачання розрахункове силове активне навантаження $P_{p.2}$ і розрахункове силове реактивне навантаження $Q_{p.2}$ для n електроприймачів визначаються за формулами:

$$P_{p.2} = K_{p.a} \cdot \sum_{i=1}^n k_{\text{в.і}} \cdot p_{\text{ном.і}} = K_{p.a} \cdot \sum_{i=1}^n p_{\text{см.і}}, \quad (3.20)$$

$$Q_{p.2} = K_{p.p} \cdot \sum_{i=1}^n k_{\text{в.і}} \cdot p_{\text{ном.і}} \cdot \text{tg} \varphi_{\text{ном.і}} = K_{p.p} \cdot \sum_{i=1}^n q_{\text{см.і}}, \quad (3.21)$$

де $p_{\text{см.і}}$, $q_{\text{см.і}}$ – середні активна та реактивна потужності за максимально завантаженою зміну i -го ЕП відповідно;

$\text{tg} \varphi_{\text{ном.і}}$ – відповідає номінальному значенню коефіцієнта потужності $\cos \varphi_{\text{ном.і}}$, яке характерне для даного виду ЕП.

Визначаємо розрахункове силове активне та реактивне навантаження

					MP 5.8.141.291 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

електроприймачів СРШ1 за формулами (3.20), (3.21):

$$P_{p.2} = 1,0 \cdot 18,89 = 18,89 \text{ кВт.}$$

$$Q_{p.2} = 1,1 \cdot 15,57 = 17,13 \text{ кВАр.}$$

Розрахункове силове повне навантаження на другому рівні електропостачання визначається як:

$$S_{p.2} = \sqrt{P_{p.2}^2 + Q_{p.2}^2}, \quad (3.22)$$

При цьому розрахунковий струм:

$$I_{p.2} = \frac{S_{p.2}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (3.23)$$

Розрахункове силове повне навантаження електроприймачів СРШ1:

$$S_{p.2} = \sqrt{18,89^2 + 17,13^2} = 25,50 \text{ кВА.}$$

Розрахунковий струм споживачів СРШ1:

$$I_{p.2} = \frac{25,50}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 38,74 \text{ А.}$$

Аналогічно розраховуємо величини та розрахункові навантаження для електроприймачів розподільчих шаф СРШ2-СРШ4, результати заносимо до табл. 3.2.

					<i>MP 5.8.14.1.291 ПЗ</i>	Арк.
						38
<i>Змн.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

3.3 Визначення розрахункового силового навантаження цеху на третьому рівні електропостачання

На третьому рівні електропостачання кількість ЕП ще більша, ніж на другому рівні. Результуюче навантаження завжди менше від суми їх номінальних потужностей і буде або більше (у разі малої кількості ЕП) або менше (у разі значної кількості ЕП) середнього навантаження за максимально завантаженою зміну, що характеризується коефіцієнтами розрахункових активних навантажень $K'_{p.a}$ і розрахункових реактивних навантажень $K'_{p.p}$ [5].

На цьому рівні електропостачання коефіцієнт розрахункових активних навантажень $K'_{p.a}$ також залежить від ефективного числа ЕП n_e , середньозваженого коефіцієнта використання активної потужності $K_{e.cв}$ та сталої часу нагрівання мережі T_0 , яка приймається $T_0 = 2,5$ год.

На третьому рівні електропостачання через значну кількість ЕП допускається величину ефективного числа ЕП n_e визначати за спрощеною формулою:

$$n_e = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^m P_{ном.i}}{P_{ном.макс}}, \quad (3.24)$$

де m – усі ЕП (без резервних), які живляться від шин НН ТП;

$P_{ном.макс}$ – номінальна активна потужність найбільш потужного ЕП усієї групи.

Якщо знайдене за формулою (3.24) значення $n_e > m$, то приймається $n_e = m$.
Значення n_e округляється до найближчого меншого цілого числа.

Для третього рівня електропостачання виробничого цеху величина ефективних ЕП за формулою (3.24) становить:

					MP 5.8.14.1.291 ПЗ	Арк.
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		39

$$n_e = \frac{2 \cdot (P_{\text{ном.СРШ1}} + P_{\text{ном.СРШ2}} + P_{\text{ном.СРШ3}} + P_{\text{ном.СРШ4}})}{P_{\text{ном.макс}}},$$

$$n_e = \frac{2 \cdot (23,5 + 51,0 + 64,0 + 41,0)}{16,0} = 22,4 \text{ шт.}$$

Приймаємо найближче менше ціле число ефективних ЕП $n_e = 22$ шт.

Середньозважений коефіцієнт використання активної потужності визначається за формулою (3.25), але для всіх працюючих ЕП кількістю m .

$$K_{\text{в.св.}} = \frac{\sum_{i=1}^{\kappa} P_{\text{см.і.}}}{\sum_{i=1}^{\kappa} P_{\text{ном.і.}}}, \quad (3.25)$$

$$K_{\text{в.св.}} = \frac{(P_{\text{см.СРШ1}} + P_{\text{см.СРШ2}} + P_{\text{см.СРШ3}} + P_{\text{см.СРШ4}})}{P_{\text{ном.}\Sigma}},$$

$$K_{\text{в.св.}} = \frac{(18,89 + 32,57 + 64,0 + 37,26)}{179,5} = 0,85.$$

Коефіцієнт розрахункового активного навантаження $K'_{p.a}$ для обчислених вище числа ефективних електроприймачів $n_e = 22$ шт. та середньозваженого коефіцієнта використання активної потужності $K_{\text{в.св.}} = 0,85$ за табл. К2 додатку К [1] приймаємо рівним 1.

Розрахункове силове активне навантаження цеху $P_{p.3}$ на третьому рівні електропостачання визначається за формулою (3.26):

$$P_{p.3} = K'_{p.a} \cdot \sum_{i=1}^m k_{\text{в.і.}} \cdot P_{\text{ном.і.}} = K'_{p.a} \cdot \sum_{i=1}^m P_{\text{зм.і.}}, \quad (3.26)$$

$$P_{p.3} = 1,0 \cdot 152,72 = 152,72 \text{ кВт.}$$

					MP 5.8.14.1.291 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

На третьому рівні електропостачання коефіцієнт розрахункових активних навантажень $K'_{p.a}$ та коефіцієнт розрахункових реактивних навантажень $K'_{p.p}$ приймаються рівними $K'_{p.a} = K'_{p.p}$, тому $K'_{p.p} = 1$. Тому розрахункове силове реактивне навантаження $Q_{p.3}$ визначається як:

$$Q_{p.3} = K'_{p.p} \cdot \sum_{i=1}^m k_{e.i} \cdot P_{ном.i} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{ном.i} = P_{p.3} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{св}, \quad (3.27)$$

де $\operatorname{tg} \varphi_{св}$ – відповідає середньозваженому значенню коефіцієнта потужності $\cos \varphi_{св}$.

$$Q_{p.3} = 152,72 \cdot 0,76 = 116,32 \text{ кВАр.}$$

Розрахункове силове повне навантаження на третьому рівні електропостачання визначається так:

$$S_{p.3} = \sqrt{P_{p.3}^2 + Q_{p.3}^2}, \quad (3.28)$$

$$S_{p.3} = \sqrt{152,72^2 + 116,32^2} = 191,97 \text{ кВА.}$$

При цьому розрахунковий струм:

$$I_{p.3} = \frac{S_{p.3}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (3.29)$$

де $U_{ном}$ – номінальна напруга електричної мережі до 1 кВ.

$$I_{p.3} = \frac{191,97}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 291,67 \text{ А.}$$

					MP 5.8.141.291 ПЗ	Арк.
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		41

3.4 Розрахунок навантаження загального електричного освітлення цеху

Електричне освітлення виробничих приміщень є загальним рівномірним освітленням і виконується світильниками, які розподіляють рівномірно між окремими фазами трифазної електричної мережі. Тому електричне освітлення можна розглядати як трифазне навантаження.

Розрахункове навантаження загального електричного освітлення цеху визначається методом коефіцієнта попиту [2,10]. Вихідними даними при цьому, є встановлене (номінальне) навантаження загального освітлення цеху $P_{уст.о}$, яке визначається за результатами світлотехнічного розрахунку. У розділі 2 за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення DiaLux Evo визначено кількість та потужність світильників освітлювальної установки.

Встановлена потужність освітлювальної установки визначається за формулою:

$$P_{уст.о} = P_{св} \cdot n, \quad (3.30)$$

де $P_{св}$ – потужність світильника, кВт.

$$P_{уст.о} = 0,2 \cdot 28 = 5,6 \text{ кВт.}$$

Розрахункове активне навантаження загального освітлення цеху визначається як:

$$P_{р.о} = P_{уст.о} \cdot K_{н.о}, \quad (3.31)$$

де $K_{н.о}$ – коефіцієнт попиту загального освітлення.

Для виробничих будівель, що складаються з окремих великих приміщень, приймається коефіцієнт попиту загального освітлення $K_{н.о} = 0,95$.

$$P_{р.о} = 0,95 \cdot 5,6 = 5,32 \text{ кВт.}$$

					MP 5.8.141.291 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахункове реактивне навантаження загального освітлення цеху:

$$Q_{p.o} = P_{p.o} \cdot \operatorname{tg} \varphi_o, \quad (3.32)$$

де $\operatorname{tg} \varphi_o$ – відповідає значенню коефіцієнта потужності $\cos \varphi_o$ залежно від виду (типу) джерела світла.

Для світлодіодних світильників коефіцієнт активної потужності $\cos \varphi_o$ приймається у відповідності з їх технічними характеристиками (табл. 2.1) рівним 0,9. Йому відповідає коефіцієнт реактивної потужності $\operatorname{tg} \varphi_o = 0,484$.

$$Q_{p.o} = 5,32 \cdot 0,484 = 2,58 \text{ кВАр.}$$

Розрахункове повне навантаження загального освітлення цеху визначається за формулою

$$S_{p.o.} = \sqrt{P_{p.o.}^2 + Q_{p.o.}^2}, \quad (3.33)$$

$$S_{p.o.} = \sqrt{5,32^2 + 2,58^2} = 5,91 \text{ кВА.}$$

При цьому розрахунковий струм визначається як:

$$I_{p.o.} = \frac{S_{p.o.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (3.34)$$

$$I_{p.o.} = \frac{5,91}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 8,98 \text{ А.}$$

Розрахункові величини та розрахункові навантаження силових ЕП на третьому рівні електропостачання наведені в табл. 3.2.

					<i>MP 5.8.141.291 ПЗ</i>	Арк.
						43
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Змн.	
Аркш	
№ док-м.	
Підпис	
Дата	
MP 5.8.14.1.291 ПЗ	
44	Арк

Таблиця 3.2 – Визначення розрахункового навантаження споживачів електроенергії

№ на плані	Найменування ЕП	К-ть ЕП n , шт.	Номинальна потужність, кВт		Коефіцієнт використання, k_e	Коефіцієнти потужності		$k_e \cdot P_{ном}$	$k_e \cdot P_{ном} \cdot tg\varphi$	Ефективне число ЕП n_e	$K_{p.a}$	$K_{p.p}$	Розрахункові навантаження			Розрахунковий струм I_p , А							
			одного ЕП, $P_{ном}$	загальна, $P_{ном}$		$\cos \varphi$	$tg \varphi$						P_p , кВт	Q_p , кВАр	S_p , кВА								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17							
1	Автоматична установка повздовжньо-поперечної різки	1	5	5	0,8	0,72	0,96	4	3,86														
2	Автоматична машина для зварювання корпусу аерозольного балону	1	7	7	0,82	0,74	0,91	5,74	5,22														
3	Транспортер	1	0,5	0,5	0,8	0,75	0,88	0,4	0,35														
4,6,8	Стрічково-пластинчастий конвеєр	3	0,5	1,5	0,8	0,75	0,88	1,2	1,06														
5	Автоматична двостороння машина для збірки і завальцовки балона	1	4,5	4,5	0,81	0,86	0,59	3,645	2,16														
7	Тестер герметичності балона	1	5	5	0,78	0,8	0,75	3,9	2,93														
Всього по СШР1		8		23,5	0,80	0,77	0,82	18,89	15,57								4	1	1,1	18,89	17,13	25,50	38,74
9	Швидкісний подавач листів	1	0,5	0,5	0,78	0,7	1,02	0,39	0,40														
10	Система приводки	1	0,5	0,5	0,76	0,7	1,02	0,38	0,39														
11-14	Фарбувальний апарат	4	4	16	0,65	0,8	0,75	10,4	7,80														

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
15-18	Система очистки офсетних полотен	4	3,5	14	0,6	0,79	0,78	8,4	6,52							
19-22	Автоматичний змінювач форми	4	5	20	0,65	0,8	0,75	13	9,75							
Всього по СШР2		14		51	0,64	0,79	0,76	32,57	24,85	12	1	1	32,57	24,85	40,97	62,25
23-26	Проміжний УФ-осушувач	4	16	64	1	0,8	0,75	64	48,00							
Всього по СШР3		4		64	1	0,80	0,75	64	48,00	4	1	1,1	64,00	52,80	82,97	126,06
27	Анілоксова лакувальна машина	1	6	6	0,78	0,75	0,88	4,68	4,13							
28,32	Транспортер	2	0,5	1	0,78	0,7	1,02	0,78	0,80							
29	Фінішний УФ-осушувач	1	16	16	1	0,8	0,75	16	12,00							
30	Пульт управління	1	2	2	1	0,88	0,54	2	1,08							
31	Система контролю якості друку	1	2	2	1	0,87	0,57	2	1,13							
33	SMS-система управління листами	1	4,5	4,5	0,78	0,81	0,72	3,51	2,54							
34	Модульний штабелер	1	5,5	5,5	0,78	0,8	0,75	4,29	3,22							
35,36	Вентилятор витяжний	2	2	4	1	0,8	0,75	4	3,00							
Всього по СШР4		10		41	0,91	0,80	0,75	37,26	27,89	4	1	1,1	37,26	30,68	48,27	73,34
Всього по III рівню				179,5	0,85	0,80	0,76	152,72	116,32	22	1	1	152,72	116,32	191,97	291,67
Робоче та аварійне освітлення				5,6	0,95	0,9	0,48	5,32	2,58				5,32	2,58	5,91	8,98
Всього				185,1	0,85	0,8	0,75	158,0	118,9				158,04	118,90	197,77	300,48

MP 5.8.14.1.291 ПЗ

3.5 Визначення розрахункового навантаження цехової трансформаторної підстанції

Розрахункове навантаження на шинах НН ТП (третій рівень електропостачання) необхідне для вибору номінальної потужності трансформаторів і розрахунку потужності пристроїв компенсації реактивної потужності споживача.

До розрахункових активного $P_{p.з}$ і реактивного $Q_{p.з}$ навантажень силових електроприймачів слід додати розрахункові активне $P_{p.о}$ і реактивне $Q_{p.о}$ навантаження загального робочого та аварійного освітлення ($P_{p.а.о}$, $Q_{p.а.о}$). Так як світильники аварійного освітлення виділяються з числа робочих і працюють весь час разом із загальним освітленням то розрахункове навантаження окремо аварійного освітлення не враховується.

При розрахунку загального розрахункового навантаження ТП з урахуванням розрахункового навантаження загального електричного освітлення цеху приймається коефіцієнт одночасності збігання максимумів навантаження $K_o = 1,0$.

Необхідні для розрахунку дані беремо з розділу 2 та підрозділу 3.4.

Загальне розрахункове активне навантаження ТП визначаємо за формулою:

$$P_{p.ТП} = P_{p.з} + P_{p.о} + P_{p.а.о}, \quad (3.35)$$

$$P_{p.ТП} = 152,72 + 5,32 = 158,04 \text{ кВт.}$$

Загальне розрахункове реактивне навантаження визначаємо як:

$$Q_{p.ТП} = Q_{p.з} + Q_{p.о} + Q_{p.а.о}, \quad (3.36)$$

$$Q_{p.ТП} = 116,32 + 2,58 = 118,9 \text{ кВАр.}$$

Таким чином, загальне розрахункове повне навантаження ТП знаходимо за формулою (3.37):

					<i>MP 5.8.14.1.291 ПЗ</i>	Арк.
						46
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S_{p.ТП} = \sqrt{P_{p.ТП}^2 + Q_{p.ТП}^2}, \quad (3.37)$$

$$S_{p.ТП} = \sqrt{158,04^2 + 118,9^2} = 197,77 \text{ кВА.}$$

При цьому розрахунковий струм з боку НН ТП:

$$I_{p.ТП} = \frac{S_{p.ТП}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (3.38)$$

$$I_{p.ТП} = \frac{197,77}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 300,48 \text{ А.}$$

Результати розрахунків наведені в табл. 3.2.

3.6 Розрахунок пікових струмів

Піковий струм – це максимальний короткочасний струм тривалістю в кілька секунд. Піковим струмом для одного електроприймача є пусковий струм, який виникає при вмиканні одного електродвигуна. Для групи електроприймачів піковий струм визначається з урахуванням електродвигунів з найбільшим пусковим струмом.

Піковий струм групи ЕП (двох-п'яти двигунів) напругою до 1 кВ визначається як:

$$I_{пik.} = I_{пyск.макс} + \sum_1^{n-1} I'_{ном}, \quad (3.39)$$

де $I_{пyск.макс}$ – найбільший з пускових струмів одного електродвигуна у групі за паспортними даними;

					<i>MP 5.8.14.1.291 ПЗ</i>	Арк.
						47
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$\sum_1^{n-1} I'_{ном}$ – сумарний номінальний струм групи ЕП без урахування

номінального струму найбільшого за потужністю двигуна.

Піковий струм групи від групи більше п'яти ЕП напругою до 1 кВ при активно-індуктивному навантаженні з достатньою точністю можна визначити як арифметичну суму найбільшого з пускових струмів двигуна у групі та розрахункового струму всіх споживачів групи без номінального струму двигуна з найбільшим пусковим струмом при $TВ = 1$ [2,3,9,12].

$$I_{пик.} = I_{пуск.макс} + (I_{p,2} - k_e \cdot I_{ном.макс}), \quad (3.40)$$

де $I_{p,2}$ – розрахунковий струм усіх споживачів групи (розрахунковий струм другого рівня електропостачання);

k_e – коефіцієнт використання двигуна з найбільшим пусковим струмом;

$I_{ном.макс}$ – номінальний струм двигуна з найбільшим пусковим струмом при $TВ = 1$.

Найбільші пускові струми ЕД $I_{пуск.макс}$ для даної групи споживачів обираємо з табл. 3.1.

Розраховуємо пікові навантаження для магістралі, до якої приєднані споживачі СРШ1 – двигуни установки повздовжньо-поперечної різки, машина для зварювальної установки, транспортних механізмів та ін. (усього 8 електроприймачів). Найпотужніший електроприймач цієї групи – машина для зварювання корпусу аерозольного балону з номінальною потужністю $P_{ном.д} = 7$ кВт, для якого згідно з табл. 3.2 приймається коефіцієнт активної потужності $\cos\varphi = 0,74$ та коефіцієнт використання $k_e = 0,82$.

Пускові струми електроприймачів вказані в табл. 3.1.

Розрахунковий струм 2-го рівня ЕП для споживачів СРШ1 $I_{p,2} = 38,74$ А.

Піковий струм для даної групи визначається за формулою (3.40):

					MP 5.8.14.1.291 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{\text{пик.}} = 71,86 + (38,74 - 0,82 \cdot 14,37) = 98,81 \text{ А.}$$

Аналогічно визначаємо пікові струми для магістралей, що живлять силові розподільчі шафи СРШ2, СРШ3, СРШ4. Результати розрахунків заносимо до табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Розрахунок пікових навантажень

Найменування ПРЄ	Дані найпотужнішого ЕП			Розрахунковий струм $I_{p.2}$, А	Коефіцієнт використання k_6 , в.о.	Піковий струм $I_{\text{пик}}$, А
	номер	Номінальний струм $I_{\text{ном.макс}}$, А	Пусковий струм $I_{\text{пуск}}$, А			
СРШ1	2	14,37	71,86	38,74	0,82	98.81
СРШ2	19	9,50	47,48	62,25	0,65	103.55
СРШ3	23	30,39	151,93	126,06	1	243.09
СРШ4	29	30,39	151,93	73,34	0.91	197.62
РП	23	30,39	151,93	300,48	0,85	426,48

4. ВИБІР НОМІНАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРА ЦЕХОВОЇ ПІДСТАНЦІЇ

При виборі потужності трансформаторів ЦТП слід враховувати їх навантажувальну здатність.

Потужність трансформаторів ЦТП обирають за розрахунковим навантаженням. Оскільки навантаження на шинах 0,38 кВ належить до 3-го рівня електропостачання і визначається за середньозмінним навантаженням за найбільш завантажену зміну, то ця умова виконується, тому що потроєна постійна часу трансформатора ($3T_0 = 3 \cdot 2,5 = 7,5$ год.) порівняна з тривалістю зміни.

Потужність трансформатора обирають з урахуванням необхідного резервування всіх ЕП I категорії надійності та основних ЕП II категорії надійності в результаті роботи автоматичного вмикання резерву (АВР) на секційному автоматичному вимикачу (контакторі) або на вмиканні резервної перемички сусідньої ПС.

Мінімальна потужність трансформаторів буде у тому випадку, коли через них реактивна потужність не передається, а повністю компенсується на стороні до 1 кВ. Це базовий варіант, при якому розрахункове реактивне навантаження ЦТП $Q_{p,ЦТП}$ дорівнює встановленій потужності всіх низьковольтних конденсаторів (НК) $Q_{н.к}$.

При трьох і менше трансформаторах їх номінальну потужність обирають за розрахунковим активним навантаженням з урахуванням прийнятого коефіцієнта завантаження трансформатора β_T за емпіричною формулою [3,9]:

$$S_{ном.Т} \geq S_{ном.Т.p} = \frac{P_{p,ЦТП}}{N \cdot \beta_T}, \quad (4.1)$$

де $S_{ном.Т.p}$ – повна номінальна розрахункова потужність трансформатора;

$P_{p,ЦТП}$ – сумарне розрахункове активне навантаження ЦТП з підрозділу 3.5;

N – кількість трансформаторів ТП.

Обирається найближча більша стандартна потужність трансформатора [3,9].

					MP 5.8.14.1.291 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

4.1 Вибір силового трансформатора для цеху

Напруга трансформатора на високій стороні – 10 кВ.

Електроприймачі належать до II категорії надійності, для яких допускається встановлення однострансформаторної ПС з коефіцієнтом завантаження $\beta = 0,9$.

За формулою (3.1) розрахункова номінальна потужність ЦТП:

$$S_{ном.Т} \geq S_{ном.Т.р} = \frac{158,04}{0,9} = 175,6 \text{ кВА.}$$

Обираємо трансформатор з номінальною потужністю $S_{ном.Т} = 250$ кВА типу ТСЛ-250/10/0,4.

4.2 Визначення потужності конденсаторних установок з номінальною напругою конденсаторів 0,4 кВ

Для вибору компенсуючого пристрою (КП) необхідно знати розрахункову реактивну потужність КП, тип компенсуючого пристрою та його напругу.

Розрахункову реактивну потужність КП можна визначити зі співвідношення:

$$Q_{к.р.} = \alpha \cdot P_{р.ЦТП} \cdot (tg\varphi - tg\varphi_к), \quad (4.2)$$

де $Q_{к.р.}$ – розрахункова потужність КП, кВАр;

α – коефіцієнт, що враховує підвищення $\cos\varphi$ природнім шляхом, приймається $\alpha = 0,9$;

$tg\varphi, tg\varphi_к$ – коефіцієнти реактивної потужності до та після компенсації.

Компенсацію реактивної потужності за досвідом експлуатації здійснюють до одержання значення $\cos\varphi_к = 0,92...0,95$. Задавшись $\cos\varphi_к$ з цього проміжку, визначають $tg\varphi_к$. Значення $P_{р.ЦТП}, tg\varphi$ беремо з табл. 3.2 за результатами розрахунків навантажень.

					<i>MP 5.8.14.1.291 ПЗ</i>	Арк.
						51
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахункову реактивну потужність знайдемо за формулою (4.2). Приймаємо $\cos \varphi_k = 0,95$, тоді $\operatorname{tg} \varphi_k = 0,329$:

$$Q_{к.р.} = 0,9 \cdot 158,04 \cdot (0,75 - 0,329) = 59,88 \text{ кВАр.}$$

По [2] обираємо комплектну конденсаторну установку УКРП-0,4-60-10УЗ зі ступеневим регулюванням величиною 10 кВАр.

Визначимо фактичні значення $\operatorname{tg} \varphi_\phi$ та $\cos \varphi_\phi$ після компенсації реактивної потужності:

$$\operatorname{tg} \varphi_\phi = \operatorname{tg} \varphi - \frac{Q_{к.ст.}}{\alpha \cdot P_{р.ЦТП}}, \quad (4.3)$$

де $Q_{к.ст.}$ – стандартне значення потужності обраного КП, кВАр.

$$\operatorname{tg} \varphi_\phi = 0,75 - \frac{60}{0,9 \cdot 158,04} = 0,328$$

За значенням $\operatorname{tg} \varphi_\phi$ знаходимо $\cos \varphi_\phi$:

$$\begin{aligned} \cos \varphi_\phi &= \cos(\operatorname{arctg} \varphi_\phi), \\ \cos \varphi_\phi &= \cos(18,16^\circ) = 0,95. \end{aligned} \quad (4.4)$$

Результати розрахунків заносимо до табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Звідна відомість навантажень до та після компенсації

Параметр	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	$P_{р.ЦТП}$, кВт	$Q_{р.ЦТП}$, кВАр	$S_{р.ЦТП}$, кВА
Всього на НН без КП	0,8	0,75	158,04	118,9	197,77
КП				60	
Всього на НН з КП	0,95	0,328	158,04	59,8	168,66

5. ВИБІР ПЕРЕРІЗУ ПРОВІДНИКІВ

У магістерській роботі вибору підлягають перерізи таких провідників:

- кабельної лінії напругою 10 кВ, що живить ЦТП;
- силової живильної мережі напругою 0,38 кВ;
- розподільної мережі (від СРШ до електроприймача);

Вибір перерізу провідників здійснюється з урахуванням їх роботи в нормальному, перевантаженому та аварійному (КЗ) режимах.

Вибір перерізу провідників у загальному випадку визначають за економічною густиною струму, нагріванням, втратами та відхиленнями напруги, електродинамічною стійкістю та механічною міцністю.

Перелічені фактори виявляються по-різному залежно від конструктивного виконання електричної мережі (кабель, шинопровід), виду (живильна, розподільна), призначення (силова, освітлювальна).

5.1 Вибір перерізу кабельної лінії напругою 10 кВ

Вибір перерізу кабельної лінії напругою 10 кВ здійснюється за нормальним режимом навантаження, перевірка вибраного перерізу – за максимальним режимом, перевірка на термічну стійкість – за аварійним режимом. Перевірку за умовами корони, а також на механічну міцність жил кабелів робити не потрібно, так як мінімальний переріз алюмінієвої жили для кабелів становить 2,5 мм², мідної 1,5 мм², що відповідає мініимальному перерізу провідника.

5.1.1 Вибір перерізу кабелю за нормальним режимом

При виборі перерізу кабелю, що живить ЦТП з трансформатором 10/0,4 кВ, струмом нормального режиму $I_{норм}$ при радіальній схемі незалежно від числа трансформаторів ЦТП (один або два) приймається номінальний первинний струм

					MP 5.8.141.291 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

трансформатора, який визначається за паспортними даними трансформатора за формулою:

$$I_{\text{норм}} = I_{\text{ном.Т.1}} = \frac{S_{\text{ном.Т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.Т.1}}}, \quad (5.1)$$

де $S_{\text{ном.Т}}$ – номінальна потужність трансформатора, кВА;

$U_{\text{ном.Т.1}}$ – номінальна первинна напруга трансформатора, кВ.

Номінальна потужність трансформатора $S_{\text{ном.Т}}=250$ кВА. Визначаємо його номінальний первинний струм:

$$I_{\text{норм}} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 10} = 14,451 \text{ А.}$$

Економічно вигідний переріз кабелів визначається як:

$$S_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{норм}}}{J_{\text{ек}}}, \text{ мм}^2 \quad (5.2)$$

де $J_{\text{ек}}$ – нормоване значення економічно вигідної густини струму А/мм².

Розрахунковий економічно вигідний переріз $S_{\text{ек}}$ округляється до найближчого більшого або меншого стандартного перерізу $S_{\text{СТ}}$, мм².

Від ЦТП живляться ЕП 3-категорії надійності електропостачання, тому приймаємо кількістю годин використання максимуму навантаження за рік $T_{\text{макс}} = 5000$ год/рік. Обираємо кабель з паперовою ізоляцією та алюмінієвими жилами в свинцевій оболонці – АСБ. Для зазначеної вище марки кабелю та кількості годин використання максимуму навантаження за рік економічна густина струму $J_{\text{ек}}=1,2$ А/мм² ([2] табл. М.1). За формулою (5.2) економічно вигідний переріз кабелю в нормальному режимі роботи:

					<i>MP 5.8.14.1.291 ПЗ</i>	Арк.
						54
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S_{ек} = \frac{14,451}{1,2} = 12,04 \text{ мм}^2.$$

Обираємо найближчий більший стандартний переріз кабелю $S_{СТ} = 35 \text{ мм}^2$.

5.1.2 Перевірка перерізу кабелю за максимальним режимом

У режимі максимального навантаження кабелів допустимий для даного кабелю струм з урахуванням умови прокладки та відхилення параметрів навколишнього середовища від стандартних умов $I'_{дон}$ та коефіцієнтів допустимого перевантаження $K_{пер}$, ([2] табл. М.2), порівнюють зі струмом у режимі перевантаження $I_{пер}$ з урахуванням коефіцієнта резервування $K_{рез}$:

$$K_{пер} \cdot I'_{дон} \geq I_{ф} = K_{рез} \cdot I_{норм}, \text{ А.} \quad (5.3)$$

У разі невиконання умови за формулою (5.3) необхідно прийняти нове значення найближчого більшого стандартного перерізу кабелю, щоб вона виконувалась.

Допустимий тривалий струм для кабелів напругою 10 кВ з урахуванням умов прокладки та відхилення параметрів навколишнього середовища від стандартних умов при їх тривалому характері визначається як:

$$I'_{дон} = K_{сер} \cdot K_{пр} \cdot I_{дон}, \text{ А.} \quad (5.4)$$

де $K_{сер}$ – поправочний коефіцієнт на температуру навколишнього середовища, якщо вона відмінна від стандартної ([2] табл. М.4);

$K_{пр}$ – поправочний коефіцієнт на кількість кабелів, що лежать поруч у землі ([2] табл. М.5);

					MP 5.8.14.1.291 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$I_{дон}$ – допустимий тривалий струм провідника стандартного перерізу для стандартних умов (для однієї окремої лінії, стандартних температур для землі та води $+15^{\circ}\text{C}$, для повітря $+20^{\circ}\text{C}$) залежно від матеріалу жил, їх ізоляції, способу прокладання, А ([2] табл. М.6 і М.7).

Поправочний коефіцієнт на температуру навколишнього середовища $K_{сер}$ можна обчислити за співвідношенням:

$$K_{сер} = \sqrt{\frac{T_{ж.н} - T_{сер}}{T_{ж.н} - T_{сер.н}}}, \quad (5.5)$$

де $T_{ж.н}$, $T_{сер.н}$ – нормовані тривало допустимі температури жили та середовища відповідно;

$T_{сер}$ – фактична температура навколишнього середовища.

Допустимі температури нагрівання провідників залежать від їх конструкції та режиму.

При нормованій тривало допустимій температурі кабелю марки АСБ напругою 10 кВ $T_{ж.н} = 60^{\circ}\text{C}$, нормованій тривало допустимій температурі середовища $T_{сер.н} = 15^{\circ}\text{C}$ та фактичній температурі навколишнього середовища $T_{сер} = 20^{\circ}\text{C}$ поправочний коефіцієнт на температуру навколишнього середовища за формулою (5.5):

$$K_{сер} = \sqrt{\frac{60 - 20}{60 - 15}} = 0,94 .$$

Поправочний коефіцієнт на кількість кабелів при прокладці кабелю всередині землі без труб приймається $K_{пр} = 1$.

При прокладці в землі для трижильних кабелів марки АСБ напругою 10 кВ та перерізом 35 мм^2 , допустимий тривалий струм $I_{дон} = 115 \text{ А}$. За формулою (5.4):

					MP 5.8.14.1.291 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I'_{дон} = 0,94 \cdot 1 \cdot 115 = 108,1 \text{ А.}$$

Для однострансформаторних ПС з резервуванням між сусідніми ПС за допомогою кабельних перемичок при напрузі до 1 кВ приймається $K_{рез} = 1,3$, при резервуванні за допомогою шинних перемичок НН – $K_{рез} = 1,4$, без резервування – $K_{рез} = 1,0$ за відсутності даних.

За вихідними даними резервування на стороні НН не передбачене, тому приймаємо коефіцієнт допустимого резервування $K_{рез} = 1,0$. При проектуванні у вихідних даних не задається графік навантаження ЕП цеху, тому приймаємо коефіцієнт допустимого перевантаження $K_{пер} = 1$.

Умова перевірки перерізу кабелю в режимі максимального навантаження за формулою (5.3) виконується:

$$1 \cdot 108,1 = 108,1 \geq 1 \cdot 14,451 \text{ А.}$$

$$108,1 \geq 14,451 \text{ А.}$$

5.1.3 Перевірка перерізу кабелю за термічною стійкістю

При напрузі понад 1 кВ кабелі, які захищаються запобіжниками, на термічну стійкість не перевіряються.

Термічна здатність може бути оцінена найменшим перерізом кабелю (мм²), термостійкий до струмів КЗ:

$$S_{мін} = \frac{\sqrt{B_K}}{C} = \frac{\sqrt{I_K^2 \cdot t}}{C} = \frac{I_K \cdot \sqrt{t}}{C}, \text{ мм}^2 \quad (5.6)$$

де B_K – тепловий імпульс струму КЗ, А²с;

C – температурний коефіцієнт, що враховує обмеження допустимої температури кабелю, А·с^{1/2}/мм²;

$I_K = I_{н.о}$ – початкове значення періодичної складової струму трифазного КЗ, А;

					MP 5.8.14.1.291 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

t – дійсний час вимикання КЗ, с.

Величина дійсного часу вимикання КЗ t складається з часу дії основного релейного захисту (РЗ) $t_{зах}$, часу вимикання вимикача $t_{вимик.в}$ (можна прийняти $t_{вимик.в} = 0,05$ с) і сталої часу аперіодичної складової струму КЗ ($T_a = 0,05$ с):

$$t = t_{зах} + t_{вимик.в} + T_a, \text{ с}, \quad (5.7)$$

На лініях до ЦТП, які відходять від шин РП, застосовується двоступеневий струмовий релейний захист (РЗ), який складається зі струмової відсічки (СВ) та максимального струмового захисту (МСЗ).

Основним захистом для радіальних схем живлення ЦТП без ЕА на вводі трансформатора (глухий ввід) при коротких лініях, що характерно для промислових підприємств, є СВ. У цьому випадку дійсний струм вимикання КЗ можна прийняти $t = 0,2$ с.

Основним захистом для магістральних схем живлення ЦТП є МСЗ.

Для одноступеневої схеми при магістральному живленні ЦТП від шин ДЖ дійсний час вимикання КЗ можна прийняти $t = 0,6$ с.

Якщо після розрахунку за формулою (5.6) виконується умова $S_{СТ} > S_{мін}$, то залишається стандартний переріз кабелю. Якщо в результаті розрахунку $S_{СТ} < S_{мін}$, то необхідно прийняти нове найближче більше значення стандартного перерізу кабелю $S_{СТ} > S_{мін}$.

Згідно табл. М.8 [2] для кабелів з алюмінієвими багатодотовими жилами та паперовою ізоляцією при напрузі 10 кВ приймається температурний коефіцієнт $C = 100 \text{ А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$, $t = 0,2$ с.

Найменший переріз кабелю, який є термостійким до струмів КЗ, визначається за формулою (5.6):

$$S_{мін} = \frac{I_K \cdot \sqrt{0,2}}{100} = \frac{6000 \cdot \sqrt{0,2}}{100} = 26,83 \text{ мм}^2$$

					MP 5.8.14.1.291 ПЗ	Арк.
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		58

Таким чином, $S_{СТ} = 35 \text{ мм}^2 > S_{\text{мін}} = 26,83 \text{ мм}^2$, тому остаточно обираємо кабель АСБ 3х35 10 кВ.

5.2 Вибір перерізу провідників живильної мережі напругою до 1 кВ

Основною умовою вибору перерізу провідників є величина нагрівання їх електричним струмом у нормальному і аварійному режимах та у режимі перевантаження. Якщо температура нагрівання перевищить допустиму, то залежно від величини перевищення та тривалості часу елемент може бути пошкоджений, що спричинить порушення нормальної роботи системи, а в гіршому випадку (загорання ізоляції) може призвести до пожежі. Тому для всіх видів провідників та умов їх застосування головним у виборі перерізу є їх нагрівання, яке визначається двома ефектами теплового впливу: максимально допустимою температурою та тепловим зносом ізоляції для даного режиму та класу ізоляції.

Як критерій допустимості того чи іншого режиму за нагріванням використовуємо сумарний вплив на строк служби провідника максимальної температури та тривалості зносу ізоляції за розглянутий період. При різких піках навантаження більшу небезпеку становить перевищення максимально допустимої температури; якщо графік навантаження рівномірний, більшу вагу має складова теплового зносу ізоляції.

5.2.1 Вибір перерізу кабелів

Вибір перерізу кабелю при нагріванні в нормальному режимі полягає у визначенні такого мінімального перерізу, який допускає струм не менше розрахункового, тобто повинна виконуватись умова:

$$I'_{\text{дон}} \geq I_{p,2}, \text{ А.} \quad (5.8)$$

де $I_{p,2}$ – розрахунковий струм 2-го рівня електропостачання.

					<i>MP 5.8.141.291 ПЗ</i>	Арк.
						59
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Допустимий тривалий струм для кабелів з урахуванням умов прокладення та відхилення параметрів навколишнього середовища від стандартних умов при їх довготривалому характері визначається з урахуванням поправкового коефіцієнта $K_{нопр}$:

$$I'_{дон} = K_{сер} \cdot K_{пр} \cdot K_{нопр} \cdot I_{дон}, \text{ А.} \quad (5.9)$$

де $K_{пр} = 1$ – поправочний коефіцієнт для кабелів, прокладених у повітрі всередині або поза цехом, за будь-якої їх кількості, нормована температура середовища $T_{сер.н} = 25^\circ\text{C}$;

$K_{нопр} = 0,92$ – поправочний коефіцієнт уводиться при визначенні $I'_{дон}$ для чотирижильних кабелів з пластмасовою ізоляцією напругою до 1 кВ, якщо тривалі допустимі струми взяті з довідникової літератури як для трижильних кабелів);

Обираємо кабель марки АВВГ з полівінілхлоридною ізоляцією. Для даної марки кабелю $T_{ж.н} = 70^\circ\text{C}$, нормована температура при прокладці в повітрі $T_{сер.н} = 25^\circ\text{C}$.

Поправочний коефіцієнт на температуру навколишнього середовища $K_{сер}$ знаходимо за співвідношенням:

$$K_{сер} = \sqrt{\frac{T_{ж.н} - T_{сер}}{T_{ж.н} - T_{сер.н}}}, \quad (5.10)$$

де $T_{ж.н}$, $T_{сер.н}$ – нормовані тривало допустимі температури жили та середовища відповідно;

$T_{сер}$ – фактична температура навколишнього середовища, $T_{сер} = 34^\circ\text{C}$.

Тоді для кабелю марки АВВГ:

$$K_{сер} = \sqrt{\frac{70 - 34}{70 - 25}} = 0,894$$

Виконуємо розрахунок і вибір кабелю, що живить СРШ1. Для вибору перерізу кабелю з табл. 3.2 використовуються наступні вихідні дані: розрахунковий струм

					MP 5.8.14.1.291 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

2-го рівня електропостачання лінії, яка живить СРШ1 $I_{p,2} = 38,74$ А; розрахункове активне навантаження 2-го рівня електропостачання $P_{p,2} = 18,89$ кВт, розрахункове реактивне навантаження 2-го рівня електропостачання $Q_{p,2} = 17,13$ кВАр.

З табл. М.9 [2] для трижильного кабелю при прокладенні в повітрі зі стандартним перерізом струмопровідної жили $S_{СТ} = 16$ мм² допустимий струм $I_{дон} = 60$ А. За формулою (5.9):

$$I'_{дон} = 0,894 \cdot 1 \cdot 0,92 \cdot 60 = 49,35 \text{ А.}$$

Таким чином, $I'_{дон} = 49,35 \text{ А} \geq I_{p,2} = 38,74 \text{ А}$. Умова виконується.

Вибір перерізу лише за умов допустимого нагрівання призводить до значних втрат активної потужності та втрат напруги. Для остаточного вибору перерізу кабелю слід провести всі перевірки відповідно до вимог ПУЕ: за умов допустимої втрати напруги та відповідності до захисного апарата.

Втрати напруги в кабелях у відсотках визначається як:

$$\Delta U_{кб} = \frac{P_{p,2} \cdot R_{кб} + Q_{p,2} \cdot X_{кб}}{10 \cdot U_{ном}^2}, \% \quad (5.11)$$

де $P_{p,2}, Q_{p,2}$ – максимальні розрахункові активне і реактивне навантаження 2-го рівня електропостачання відповідно, кВт, кВАр.

$R_{кб}, X_{кб}$ – активний та реактивний опори кабелю відповідно, Ом;

$U_{ном}$ – номінальна напруга електричної мережі, кВ.

Активний і реактивний опори кабелю обчислюють за формулами:

$$R_{кб} = r_n \cdot l_{кб}, \quad (5.12)$$

$$X_{кб} = x_n \cdot l_{кб}, \quad (5.13)$$

де r_n, x_n – активний і реактивний питомі опори кабелю відповідно, Ом/км;

$l_{кб}$ – довжина кабелю, км.

					MP 5.8.14.1.291 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

З табл. М11 [2] для кабелю зі стандартним перерізом струмопровідної жили $S_{СТ} = 16 \text{ мм}^2$ приймаємо наступні питомі опори кабелю: $r_n = 1,95 \text{ мОм/м}$, $x_n = 0,0675 \text{ мОм/м}$. Довжина кабелю – 25 м. Тоді за формулами (5.12), (5.13):

$$R_{кб} = 1,95 \cdot 10^{-3} \cdot 25 = 48,8 \text{ мОм},$$

$$X_{кб} = 0,0675 \cdot 10^{-3} \cdot 25 = 1,69 \text{ мОм}.$$

За формулою (5.11):

$$\Delta U_{кб} = \frac{18,89 \cdot 0,0488 + 17,13 \cdot 0,00169}{10 \cdot 0,38^2} = 0,658\%.$$

Оскільки величина втрат напруги в кабелі не перевищує допустимої (5%), то переріз кабелю обраний вірно.

Таким чином, обираємо чотирижильний кабель АВВГ (3х16+1х10) довжиною 25 м, прокладений у коробах.

Остаточний переріз кабелю обирається після перевірки за умови відповідності захисному апарату.

Переріз кабелів живильної мережі виробничого цеху до розподільчих шаф СРШ2, СРШ3, СРШ4, освітлювального щитка ЩРО та РП НН обирається аналогічно до СРШ1. Розрахунок втрат напруги також здійснюється аналогічно. Результати розрахунків наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Вибір перерізу кабелів живильної мережі

Кабель до ПРЕ	$S_{СТ}$, мм ²	$I'_{дон}$, А	$I_{р.2}$, А	$\Delta U_{кб}$, %	Тип кабелю
від РП до СРШ1	16	49.35	38.74	0.658	АВВГ 3х16+1х10
від РП до СРШ2	35	74.02	62.25	0.213	АВВГ 3х35+1х16
від РП до СРШ3	95	139.82	126.06	0.134	АВВГ 3х95+1х35
від РП до СРШ4	50	90.47	73.34	0.192	АВВГ 3х50+1х25
від РП до ЩРО	2.5	15.63	8.98	0.601	АВВГ 3х6+1х4
від ТП до РП НН	185	332.95	300.48	0.328	АВВГ 3х185+1х50

5.3 Вибір перерізу провідників розподільної мережі напругою до 1 кВ

В електричних мережах напругою до 1 кВ переріз проводу (кабелю) розподільних мереж завжди обирають за умовою нагрівання в нормальному режимі за формулою:

$$I'_{\text{дон}} \geq I_{p.1}, \text{ А}, \quad (5.14)$$

де $I_{p.1}$ – розрахунковий струм 1-го рівня електропостачання (номінальний струм ЕП).

Для остаточного вибору перерізу проводу відповідно до вимог ПУЕ [1] необхідно перевірити провід (кабель) за механічною міцністю, допустимою втратою напруги та за умови відповідності захисному апарату. Переріз провідників приймається найбільшим за вищенаведеними вимогами.

За умовою механічної міцності мінімальний переріз алюмінієвих проводів – 2,5 мм², мідних – 1,5 мм².

Втрати напруги в проводах у відсотках визначаються як:

$$\Delta U_{np} = \frac{p_{p.1} \cdot R_{np} + q_{p.1} \cdot X_{np}}{10 \cdot U_{\text{ном}}^2}, \% \quad (5.15)$$

де $p_{p.1}, q_{p.1}$ – розрахункові активне і реактивне навантаження 1-го рівня електропостачання відповідно, кВт, кВАр.

R_{np}, X_{np} – активний та реактивний опори проводів, Ом;

$U_{\text{ном}}$ – номінальна напруга електричної мережі, кВ.

Активний і реактивний опори проводів обчислюють за формулами:

$$R_{np} = r_n \cdot l_{np}, \quad (5.16)$$

$$X_{np} = x_n \cdot l_{np}, \quad (5.17)$$

де r_n, x_n – активний і реактивний питомі опори кабелю відповідно, Ом/км;

l_{np} – довжина проводу, км.

					MP 5.8.14.1.291 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Проведемо розрахунок та вибір перерізів проводів розподільних ліній, що відходять від силового щита СРШ1 і забезпечують живлення електроприводів лінії з виробництва аерозольної упаковки. Середня температура навколишнього середовища в цеху становить $T_{сер} = 30^{\circ}C$.

Приймаємо до монтажу одножильний провід з полівінілхлоридною ізоляцією марки АПВ, прокладений у сталевій трубі. Для проводу даної марки нормована тривало допустима температура жили $T_{ж.н} = 70^{\circ}C$, нормована температура середовища при прокладенні в повітрі $T_{сер.н} = 25^{\circ}C$. Використовуючи (5.10) знаходимо поправочний коефіцієнт на температуру навколишнього середовища становить $K_{сер} = 0,94$.

При прокладенні проводу всередині приміщення цеху в сталевих трубах поправочний коефіцієнт $K_{пр} = 1,0$.

Проведемо розрахунок та вибір проводу автоматичної установки повздовжньо-поперечної різки (ЕП №1) з нормальним режимом роботи.

Номінальний струм електродвигуна визначається за формулою (3.11), паспортні дані електродвигуна приймаємо з табл. 3.1:

$$I_{ном.ЕП1} = \frac{5,0}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,72 \cdot 1} = 10,551 \text{ А.}$$

З табл.1 М.10 додатка М [1] для трьох одножильних проводів, які прокладені в одній трубі, обираємо проводи перерізом $S_{см} = 2,5 \text{ мм}^2$, для яких допустимий струм $I_{дон} = 19 \text{ А}$. Допустимий струм з урахуванням умов навколишнього середовища та умов прокладення визначається за формулою (5.9):

$$I'_{дон.ЕП1} = 0,94 \cdot 1 \cdot 19 = 17,86 \text{ А.}$$

Згідно формули (5.14)

$$I'_{дон.ЕП1} = 17,86 \text{ А} > I_{р.1} = I_{ном.д} = 10,55 \text{ А.}$$

					MP 5.8.14.1.291 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Умова перевірки за нагріванням виконується. Також виконується умова механічної міцності $S_{min} = S_{cm} = 2,5 \text{ мм}^2$.

З табл. М.11 [2] для проводу зі стандартним перерізом струмопровідної жили $S_{CT} = 2,5 \text{ мм}^2$ приймаємо наступні питомі опори: $r_n = 12,5 \text{ мОм/м}$, $x_n = 0,104 \text{ мОм/м}$. Довжина проводу від СРШ1 до електроприймача №2 – 18,5 м. Тоді за формулами (5.16), (5.17):

$$R_{np} = 12,5 \cdot 18,5 \cdot 10^{-3} = 0,231 \text{ Ом},$$
$$X_{np} = 0,104 \cdot 18,5 \cdot 10^{-3} = 0,00192 \text{ Ом}.$$

Для електродвигуна ЕП №1 за даними табл. 3.1 розрахункові активне та реактивне навантаження 1-го рівня електропостачання становлять: $P_{p.1EП1} = 5,0 \text{ кВт}$, $q_{p.1EП1} = 4,82 \text{ кВАр}$. За формулою (5.15) перевіряємо стандартний переріз проводу на втрату напруги:

$$\Delta U_{np.EП1} = \frac{5,0 \cdot 0,231 + 4,82 \cdot 0,00192}{10 \cdot 0,38^2} = 0,807 \%$$

Оскільки величина втрат напруги в кабелі не перевищує допустимої (5%), то переріз проводу обраний вірно.

Для трьох проводів стандартного перерізу $S_{cm} = 2,5 \text{ мм}^2$, прокладених у сталевій трубі, з табл. Ж.13 [2] умовний прохід сталеві труби становить 15 мм.

Таким чином, обираємо для ЕП №1 проводи АПВЗ (1х2,5) Т15.

Вибір розподільної мережі від силових розподільчих шаф до інших ЕП: перерізу проводів з перевіркою на втрату напруги та вибір діаметру сталевих труб, здійснюється аналогічно. Результати розрахунків наведені в табл. 5.2.

Остаточний переріз кабелю обирається після перевірки за умови відповідності захисному апарату.

					<i>MP 5.8.14.1.291 ПЗ</i>	Арк.
						65
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.2 – Вибір перерізу проводів розподільної мережі від СРШ до електроприймачів

Провід до ЕП	l_{np} , м	$S_{ст}$, мм ²	$I'_{дон}$, А	$I_{ном}$, А	ΔU_{np} , %	Тип проводу
№1	18,5	2,5	17,86	10.551	0.807	АПВ3 (1x2,5) Т15
№2	17,0	2,5	17,86	14.372	1.038	АПВ3 (1x2,5) Т15
№3	16,5	2,5	17,86	1.013	0.072	АПВ3 (1x2,5) Т15
№4	15,7	2,5	17,86	1.013	0.068	АПВ3 (1x2,5) Т15
№5	13,0	2,5	17,86	7.950	0.509	АПВ3 (1x2,5) Т15
№6	11,0	2,5	17,86	1.013	0.048	АПВ3 (1x2,5) Т15
№7	12,2	2,5	17,86	9.496	0.531	АПВ3 (1x2,5) Т15
№8	13,2	2,5	17,86	1.013	0.058	АПВ3 (1x2,5) Т15
№9	9,7	2,5	17,86	1.085	0.042	АПВ3 (1x2,5) Т15
№10	8,0	2,5	17,86	1.085	0.035	АПВ3 (1x2,5) Т15
№11	9	2,5	17,86	7.597	0.314	АПВ3 (1x2,5) Т15
№12	11,2	2,5	17,86	7.597	0.390	АПВ3 (1x2,5) Т15
№13	12,4	2,5	17,86	7.597	0.432	АПВ3 (1x2,5) Т15
№14	13,6	2,5	17,86	7.597	0.474	АПВ3 (1x2,5) Т15
№15	9,2	2,5	17,86	6.731	0.281	АПВ3 (1x2,5) Т15
№16	11,4	2,5	17,86	6.731	0.348	АПВ3 (1x2,5) Т15
№17	12,6	2,5	17,86	6.731	0.384	АПВ3 (1x2,5) Т15
№18	13,8	2,5	17,86	6.731	0.421	АПВ3 (1x2,5) Т15
№19	9,4	2,5	17,86	9.496	0.409	АПВ3 (1x2,5) Т15
№20	11,6	2,5	17,86	9.496	0.505	АПВ3 (1x2,5) Т15
№21	12,8	2,5	17,86	9.496	0.557	АПВ3 (1x2,5) Т15
№22	13,0	2,5	17,86	9.496	0.566	АПВ3 (1x2,5) Т15
№23	10,4	10	44,18	30.387	0.366	АПВ3 (1x10) Т20
№24	9,7	10	44,18	30.387	0.341	АПВ3 (1x10) Т20
№25	9,8	10	44,18	30.387	0.345	АПВ3 (1x10) Т20
№26	10,5	10	44,18	30.387	0.369	АПВ3 (1x10) Т20
№27	13	2,5	17,86	12.155	0.680	АПВ3 (1x2,5) Т15
№28	12,3	2,5	17,86	1.085	0.054	АПВ3 (1x2,5) Т15
№29	10,0	10	44,18	30.387	0.352	АПВ3 (1x10) Т20
№30	15,0	2,5	17,86	3.453	0.261	АПВ3 (1x2,5) Т15
№31	16,5	2,5	17,86	3.493	0.287	АПВ3 (1x2,5) Т15
№32	12,3	2,5	17,86	1.085	0.054	АПВ3 (1x2,5) Т15
№33	13,0	2,5	17,86	8.441	0.509	АПВ3 (1x2,5) Т15
№34	16,0	2,5	17,86	10.445	0.767	АПВ3 (1x2,5) Т15
№35	18,0	2,5	17,86	3.798	0.314	АПВ3 (1x2,5) Т15
№36	19,5	2,5	17,86	3.798	0.340	АПВ3 (1x2,5) Т15

6. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

Елементи електричної мережі, що потрапили в короткозамкнене коло, зазнають термічного та електродинамічного впливу струмів. Якщо величина цього впливу перевищує допустиму, елемент пошкоджується і завдає системі постачання збитків. З метою запобігання негативним наслідкам, що виникають в результаті аварійних режимів мережі в магістерській роботі необхідно:

- визначити величину струмів короткого замикання (КЗ);
- перевірити допустимість цих струмів для вибраних апаратів та струмопровідних частин (якщо струми виявляться більші за допустимі, то потрібно обрати елемент, що має більшу стійкість або обмежити струми шляхом збільшення індуктивного опору кола);
- розрахувати захист для селективного вмикання пошкодженої ділянки.

Відповідно до вимог ПУЕ щодо режиму КЗ на стійкість до впливу струмів КЗ в електроустановках до 1 кВ повинні перевірятися розподільні щити, струмопроводи та силові шафи.

Для вибору та перевірки стійкості електричних апаратів та струмопровідних частин до струмів КЗ розрахунку підлягають:

- найбільше початкове діюче значення періодичної складової струму трифазного КЗ;
- ударний струм трифазного КЗ.

При виборі та перевірці апаратури щодо її стійкості до струмів КЗ розрахунковим вважається максимальний режим, за якого струми КЗ мають максимальні значення.

Таким чином, розрахунковим видом КЗ є:

- при виборі електричних апаратів та провідників за їх стійкістю до дії струмів КЗ – трифазне КЗ.
- при виборі захисту – трьох-, двох- та однофазні КЗ.

					<i>MP 5.8.14.1.291 ПЗ</i>	Арк.
						67
<i>Змн.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

6.1 Розрахунок струмів трифазного короткого замикання

Значення струмів КЗ в електричних мережах напругою до 1 кВ впливають на вибір перерізу проводів і жил кабелів, конструкцію струмопроводів, характеристики комутаційних та захисних апаратів.

Для вибору апаратури та захистів, перевірки селективності їх дії визначають максимальний струм трифазного металевого КЗ, у цьому випадку перехідні опори дуги не враховують. Для перевірки чутливості захистів знаходять мінімальний струм КЗ; при цьому враховують усі перехідні опори контактів (рубильників, автоматів, уставних контактів, болтових з'єднань) та опір дуги в місці пошкодження шляхом введення в схему заміщення активного опору.

Для розрахунку струмів КЗ складається розрахункова схема, схема заміщення та обираються точки КЗ. При складанні еквівалентної схеми заміщення враховуємо, що всі електроприймачі мережі споживають струм напругою 0,38 кВ, тому виконувати приведення параметрів елементів вихідної розрахункової схеми до ступеня напруги мережі немає необхідності.

На рис. 6.1 наведена схема для розрахунку струмів трифазного КЗ в мережі живлення найбільш віддаленого споживача – ЕП №1 та її схема заміщення.

Початкове діюче значення періодичної складової струму трифазного КЗ $I_{n(0)}$ без врахування підживлення від електродвигунів в ГОСТ 28249-89 [13] визначається з обов'язковим врахуванням величини активного опору:

$$I_{n(0)} = \frac{U_{\text{ном.сер}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{1\Sigma}^2 + X_{1\Sigma}^2}}, \text{ А}, \quad (6.1)$$

де $U_{\text{ном.сер}}$ – середня номінальна напруга ступеня мережі, де відбулося КЗ, для цеху приймаємо $U_{\text{ном.сер}} = 400 \text{ В}$;

$R_{1\Sigma}, X_{1\Sigma}$ – відповідно сумарні активні та індуктивні опори прямої послідовності усіх елементів мережі, якими протікає струм, мОм.

					MP 5.8.141.291 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

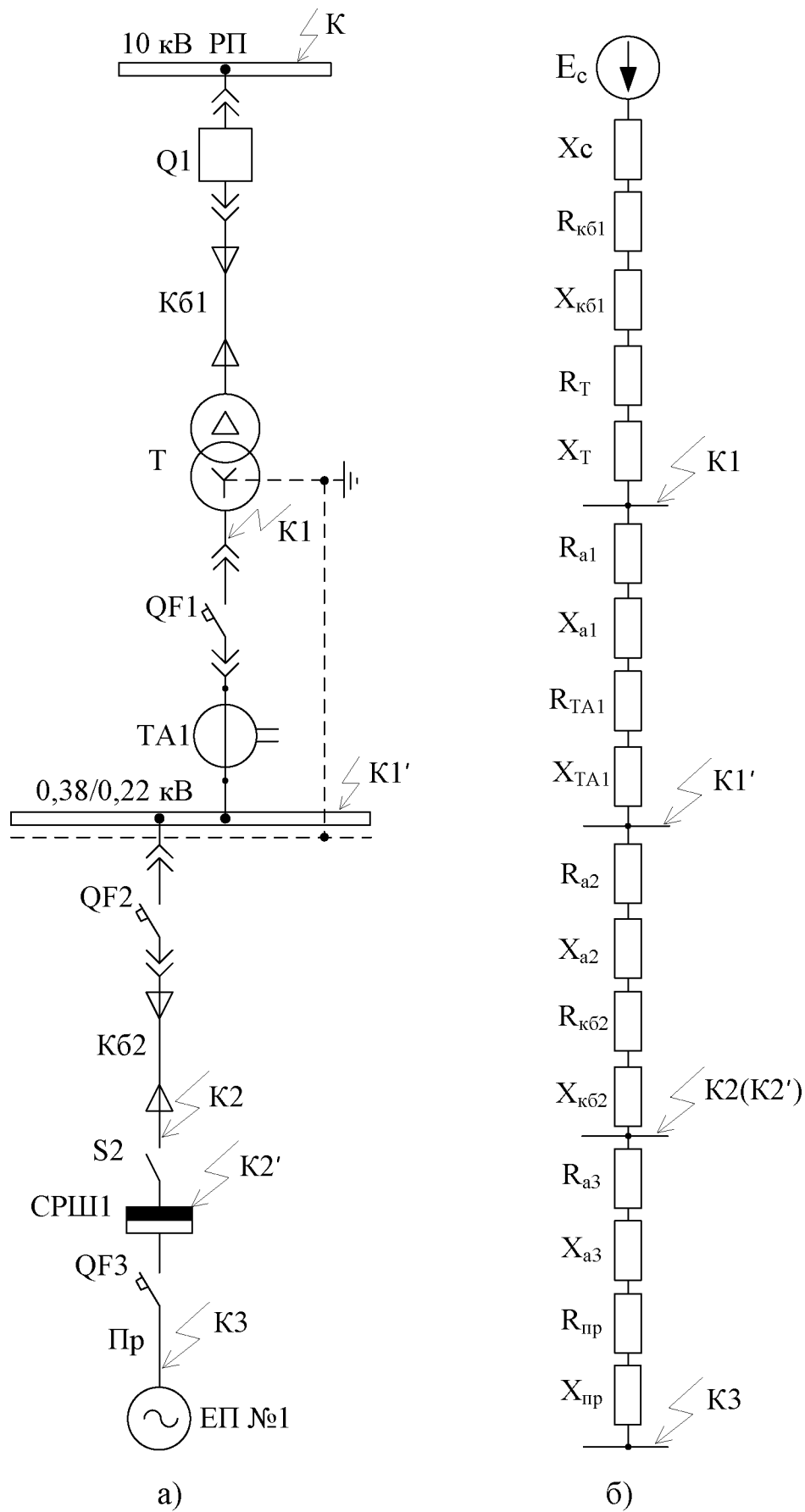


Рисунок 6.1 – Розрахункова схема (а) та схема заміщення (б) для знаходження струмів трифазного КЗ у різних точках КЗ електричної мережі 0,38 кВ.

При визначенні максимального струму трифазного КЗ $I_{n(0)}$ у значення $R_{1\Sigma}$ та $X_{1\Sigma}$ вводяться опори живильної енергосистеми в максимальному режиму.

Сумарні активний та реактивний опори прямої послідовності кола КЗ знаходять за співвідношенням:

$$R_{1\Sigma} = R_T + R_a + R_{TA} + R_{кб} + R_{np} + R_{\kappa} + R_{\partial}, \quad (6.2)$$

$$X_{1\Sigma} = X_C + X_T + X_a + X_{TA} + X_{кб} + X_{np}, \quad (6.3)$$

де X_C – еквівалентний індуктивний опір системи до знижувального трансформатора, який приведений до ступеня НН, мОм;

R_T, X_T – активний та індуктивний опори прямої послідовності трансформатора, які приведені до ступеня НН, мОм;

R_a, X_a – активний та індуктивний опори струмових котушок і перехідних опорів рухомих контактів автоматів, мОм;

R_{TA}, X_{TA} – активний та індуктивний опори первинних обмоток трансформаторів струму (ТС), мОм;

$R_{кб}, X_{кб}$ – активний та індуктивний опори прямої послідовності кабелів, мОм;

R_{np}, X_{np} – активний та індуктивний опори прямої послідовності проводів, мОм;

R_{κ} – сумарний активний опір різних контактів та контактних з'єднань, мОм;

R_{∂} – активний опір дуги в місці КЗ, який розраховується залежно від умов КЗ, мОм.

При розрахунку струмів КЗ в електричній мережі виробничого цеху, живлення якої відбувається безпосередньо від мереж енергосистеми, умовно припускаємо, що шинопровід, від якого здійснюється електропостачання всіх електроприймачів цеху, приєднаний до джерела незмінної за амплітудою напруги через еквівалентний індуктивний опір X_C , значення якого розраховується як:

					<i>MP 5.8.141.291 ПЗ</i>	Арк.
						70
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$X_C = \frac{U_{\text{ном.сер.НН}}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{ном.вим}} \cdot U_{\text{ном.сер.ВН}}}, \text{ мОм} \quad (6.4)$$

де $U_{\text{ном.сер.НН}}$ – середня номінальна напруга мережі, яка приєднана до обмотки НН трансформатора, В;

$U_{\text{ном.сер.ВН}}$ – середня номінальна напруга мережі, яка приєднана до обмотки ВН трансформатора, В;

$I_{\text{ном.вим}}$ – номінальний струм вимикання вимикача, який встановлено на вводі, кА.

Активний та індуктивний опори прямої послідовності трансформатора, які приведені до ступеня НН, розраховуються за формулами:

$$R_T = \frac{P_{\text{к.ном}} \cdot U_{\text{ном.НН}}^2}{S_{\text{ном.Т}}^2} \cdot 10^6, \text{ мОм} \quad (6.5)$$

$$X_T = \sqrt{u^2 - \left(\frac{100 \cdot P_{\text{к.ном}}}{S_{\text{ном.Т}}} \right)^2} \cdot \frac{U_{\text{ном.НН}}^2}{S_{\text{ном.Т}}} \cdot 10^4, \text{ мОм} \quad (6.6)$$

де $P_{\text{к.ном}}$ – номінальні втрати КЗ у трансформаторі, кВт;

$U_{\text{ном.НН}}$ – номінальна напруга обмотки НН трансформатора, кВ;

$S_{\text{ном.Т}}$ – номінальна потужність трансформатора, кВА.

Ударний струм КЗ визначається для моменту часу $t = 0,01$ с. У радіальній лінії ударний струм дорівнює:

$$i_{y.c} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{n(0)}, \quad (6.7)$$

де k_y – ударний коефіцієнт, що залежить від постійної часу T_a .

Для практичних розрахунків в електричних мережах наругою до 0,38 кВ при потужності трансформатора 250 кВА приймаємо значення ударного коефіцієнта $k_y = 1,35 \dots 1,5$.

					<i>MP 5.8.14.1.291 ПЗ</i>	Арк.
						71
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Струми КЗ від асинхронних електродвигунів, які безпосередньо приєднані до місця КЗ коротким відгалудженням (3-5 м) враховують лише при визначенні ударного струму КЗ та знаходять як:

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{ном.}\partial.\Sigma}, \quad (6.8)$$

де $k_{\text{пуск}}$ – коефіцієнт пуску;

$I_{\text{ном.}\partial.\Sigma}$ – номінальний струм одночасно працюючих двигунів.

Результуюче значення ударного струму визначають як суму ударних струмів від енергосистеми та від електродвигунів за формулою:

$$i_y = i_{y.c} + i_{y\partial} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_k + \sqrt{2} \cdot k_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{ном.}\partial.\Sigma}. \quad (6.9)$$

Розрахунок струмів трифазного КЗ в мережі живлення найвіддаленішого електроприймача мережі ЕП №1 проводимо в 3 етапи. Схема для розрахунку та схема заміщення показана на рис. 6.1.

1 етап. Розрахунок параметрів елементів схеми заміщення.

1) За формулою (6.4) еквівалентний індуктивний опір системи:

$$X_C = \frac{400^2}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10500} = 0,88 \text{ мОм.}$$

2) Відповідно до п.3.1 в КТП встановлений 1 трансформатор типу ТСЛ-250/10/0,4 потужністю $S_{\text{ном.Т}} = 250$ кВА. За довідковими даними втрати КЗ $P_{к.ном} = 3,9$ кВт, напруга КЗ $u_k = 4,5\%$. Активний та індуктивний опори прямої послідовності трансформатора визначаються за співвідношеннями (6.5), (6.6):

$$R_T = \frac{3,9 \cdot 0,4^2}{250^2} \cdot 10^6 = 9,984 \text{ мОм,}$$

$$X_T = \sqrt{4,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 3,9}{250}\right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{250} \cdot 10^4 = 27,014 \text{ мОм,}$$

					<i>MP 5.8.14.1.291 ПЗ</i>	Арк.
						72
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

3) Для кабельної лінії Кб1 довжиною 90 м, що забезпечує живлення КТП-1054 від РП 10 кВ питомі опори $r_{н.кб1} = 0,894$ мОм/м, $x_{н.кб1} = 0,095$ мОм/м. Активний та індуктивний опори кабельної лінії, які приведені до ступеня НН, визначаються за формулами:

$$R_{кб1} = r_{н.кб1} \cdot l_{кб1} \cdot \frac{U_{ном.сер.НН}}{U_{ном.сер.ВН}}, \text{ мОм}, \quad (6.10)$$

$$R_{кб1} = 0,894 \cdot 90 \cdot \frac{400}{10500} = 3,065 \text{ мОм},$$

$$X_{кб1} = x_{н.кб1} \cdot l_{кб1} \cdot \frac{U_{ном.сер.НН}}{U_{ном.сер.ВН}}, \text{ мОм}, \quad (6.11)$$

$$X_{кб1} = 0,095 \cdot 90 \cdot \frac{400}{10500} = 0,326 \text{ мОм},$$

4) Для вимикача автоматичного (ВА) QF1, розрахованого на номінальний струм 400 А, приймаємо $R_{a1} = 0,65$ мОм; $X_{a1} = 0,17$ мОм; для ВА QF2, розрахованого на номінальний струм 100 А, приймаємо $R_{a2} = 2,15$ мОм; $X_{a2} = 1,2$ мОм; для ВА QF3, розрахованого на номінальний струм 50 А, приймаємо $R_{a3} = 7,0$ мОм; $X_{a3} = 4,5$ мОм;

5) Для ТС (ТА) з коефіцієнтом трансформації 400/5 для класу точності 0,5 S приймається $R_{ТА} = 0,11$ мОм; $X_{ТА} = 0,17$ мОм;

6) Для кабельної лінії Кб2 напругою 0,38 кВ перерізом 16 мм² питомі опори $r_{н.кб2} = 1,95$ мОм/м, $x_{н.кб2} = 0,0675$ мОм/м. Активний та індуктивний опори кабельної лінії КЛ2 визначаємо за формулами:

$$R_{кб2} = 1,95 \cdot 25 = 48,75 \text{ мОм},$$

$$X_{кб2} = 0,0675 \cdot 25 = 1,688 \text{ мОм}.$$

7) Для проводу до ЕП №1 питомі опори $r_{np} = 12,5$ мОм/м, $x_{np} = 0,104$ мОм/м.

Визначаємо активний та індуктивний опори:

					MP 5.8.14.1.291 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_{np} = 12,5 \cdot 18,5 = 231,25 \text{ мОм},$$

$$X_{np} = 0,104 \cdot 18,5 = 1,92 \text{ мОм}.$$

2 етап. Визначення діючого значення періодичної складової струму трифазного КЗ у початковий момент (початкового перехідного струму) у різних точках системи.

1) Визначення струму трифазного КЗ у точці К1. Сумарні опори щодо точки К1 визначаються як:

$$R_{\Sigma K1} = R_{K\delta 1} + R_T, \quad (6.12)$$

$$R_{\Sigma K1} = 3,065 + 9,984 = 13,049 \text{ мОм},$$

$$X_{\Sigma K1} = X_C + X_{K\delta 1} + X_T, \quad (6.13)$$

$$X_{\Sigma K1} = 0,88 + 27,014 + 0,326 = 28,22 \text{ мОм},$$

$$Z_{\Sigma K1} = \sqrt{R_{\Sigma K1}^2 + X_{\Sigma K1}^2}, \quad (6.14)$$

$$Z_{\Sigma K1} = \sqrt{13,049^2 + 28,220^2} = 31,091 \text{ мОм}.$$

Початкове діюче значення періодичної складової трифазного струму при металевому КЗ визначається за формулою:

$$I_{K1(0)} = \frac{U_{ном.сер}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma K1}}, \quad (6.15)$$

$$I_{K1(0)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 31,091} = 7,428 \text{ кА}.$$

2) Визначення струму трифазного КЗ у точці К1'. Сумарні опори щодо точки К1' визначаються за наступним виразом:

$$R_{\Sigma K1'} = R_{\Sigma K1} + R_{ал} + R_{ТА} + R_{к1'}, \quad (6.16)$$

					<i>MP 5.8.14.1.291 ПЗ</i>	Арк.
						74
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

За довідниковими даними [1] при обчисленні струмів КЗ враховують активні опори всіх перехідних контактів у мережах, які живляться від трансформаторів потужністю до 1600 кВА включно, згідно з такими рекомендаціями:

а) на розподільних пристроях НН трансформаторів ПС – $R_{\kappa 1} = 15$ мОм;

б) на первинних цехових розподільних пунктах (СРЩ, збірках) і на затискачах ЕА, які живляться радіальними лініями від РП НН ПС або головних магістралей $R_{\kappa 2} = 20$ мОм;

в) на вторинних розподільних пунктах та затискачах електроапаратів, які живляться від первинних розподільних пунктів $R_{\kappa 3} = 25$ мОм;

г) на затискачах електроапаратів, установлених безпосередньо біля електроприймачів, які живляться від вторинних РП $R_{\kappa 4} = 30$ мОм;

$$R_{\Sigma K1'} = 13,049 + 0,65 + 0,11 + 15 = 28,809 \text{ мОм},$$

$$X_{\Sigma K1'} = X_{\Sigma K1} + X_{a1} + X_{TA}, \quad (6.17)$$

$$X_{\Sigma K1'} = 28,22 + 0,17 + 0,17 = 28,56 \text{ мОм},$$

$$Z_{\Sigma K1'} = \sqrt{R_{\Sigma K1'}^2 + X_{\Sigma K1'}^2}, \quad (6.18)$$

$$Z_{\Sigma K1'} = \sqrt{28,809^2 + 28,56^2} = 40,566 \text{ мОм}.$$

Початкове діюче значення періодичної складової трифазного струму при металевому КЗ визначається за формулою:

$$I_{KY(0)} = \frac{U_{\text{ном.сер}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma K1'}}, \quad (6.19)$$

$$I_{KY(0)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 40,566} = 5,693 \text{ кА}.$$

3) Визначення струму трифазного КЗ у точці К2. Сумарні опори щодо точки К2 визначаються за наступним виразом:

$$R_{\Sigma K2} = R_{\Sigma K1'} + R_{a2} + R_{K\delta 2}, \quad (6.20)$$

					<i>MP 5.8.14.1.291 ПЗ</i>	Арк.
						75
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_{\Sigma K2} = 28,809 + 2,15 + 48,75 = 79,709 \text{ мОм},$$

$$X_{\Sigma K2} = X_{\Sigma K1} + X_{a2} + X_{K\delta2}, \quad (6.21)$$

$$X_{\Sigma K2} = 28,56 + 1,2 + 1,688 = 31,447 \text{ мОм},$$

$$Z_{\Sigma K2} = \sqrt{R_{\Sigma K2}^2 + X_{\Sigma K2}^2}, \quad (6.22)$$

$$Z_{\Sigma K2} = \sqrt{79,709^2 + 31,447^2} = 85,688 \text{ мОм}.$$

Початкове діюче значення періодичної складової трифазного струму при металевому КЗ визначається за формулою:

$$I_{K2(0)} = \frac{U_{\text{ном.сер}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma K2}}, \quad (6.23)$$

$$I_{K2(0)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 85,688} = 2,695 \text{ кА}.$$

4) Визначення струму трифазного КЗ у точці К2'. Сумарні опори щодо точки К2' визначаються за наступним виразом:

$$R_{\Sigma K2'} = R_{\Sigma K2} + R_{K2'}, \quad (6.24)$$

$$R_{\Sigma K2'} = 79,709 + 20 = 99,709 \text{ мОм},$$

$$X_{\Sigma K2'} = X_{\Sigma K2} = 31,447 \text{ мОм},$$

$$Z_{\Sigma K2'} = \sqrt{R_{\Sigma K2'}^2 + X_{\Sigma K2'}^2}, \quad (6.25)$$

$$Z_{\Sigma K2'} = \sqrt{99,709^2 + 31,447^2} = 104,551 \text{ мОм}.$$

Початкове діюче значення періодичної складової трифазного струму при металевому КЗ визначається за формулою:

$$I_{K2'(0)} = \frac{U_{\text{ном.сер}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma K2'}}, \quad (6.26)$$

					<i>MP 5.8.14.1.291 ПЗ</i>	Арк.
						76
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{K2'(0)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 104,551} = 2,209 \text{ кА.}$$

5) Визначення струму трифазного КЗ у точці КЗ. Сумарні опори щодо точки КЗ визначаються за наступним виразом:

$$R_{\Sigma K3} = R_{\Sigma K2'} + R_{a3} + R_{np} + R_{к4}, \quad (6.27)$$

$$R_{\Sigma K3} = 99,709 + 7 + 231,25 + 30 = 367,959 \text{ мОм,}$$

$$X_{\Sigma K3} = X_{\Sigma K2'} + X_{a3} + X_{np}, \quad (6.28)$$

$$X_{\Sigma K3} = 31,447 + 4,5 + 1,924 = 37,871 \text{ мОм,}$$

$$Z_{\Sigma K3} = \sqrt{R_{\Sigma K3}^2 + X_{\Sigma K3}^2}, \quad (6.29)$$

$$Z_{\Sigma K3} = \sqrt{367,959^2 + 37,871^2} = 369,903 \text{ мОм.}$$

Початкове діюче значення періодичної складової трифазного струму при металевому КЗ визначається за формулою:

$$I_{K3(0)} = \frac{U_{ном.сер}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma K3}}, \quad (6.30)$$

$$I_{K3(0)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 369,903} = 0,624 \text{ кА.}$$

3 етап. Визначення ударних струмів у різних точках схеми.

1) За формулою (6.7) ударний струм у точці К1:

$$i_{yK1} = k_{yK1} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K1(0)},$$

$$i_{yK1} = 1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 7,428 = 15,757 \text{ кА.}$$

2) Ударний струм у точці К1':

$$i_{yK1'} = k_{yK1'} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K1(0)},$$

					MP 5.8.14.1.291 ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$i_{yK1'} = 1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 5,639 = 12,076 \text{ кА.}$$

3) Ударний струм у точці К2 від енергосистеми:

$$i_{yK2} = k_{yK2} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K2(0)},$$

$$i_{yK2} = 1,0 \cdot \sqrt{2} \cdot 2,695 = 3,811 \text{ кА.}$$

У формулі приймаємо $k_{yK2} = 1,0$.

До СРШ1 безпосередньо приєднані 8 електроприймачів, але довжина проводу до найближчого з них становить 11 м, тому їх впливом на ударний струм у точці К2 нехтуємо.

4) Ударний струм у точці К2' від енергосистеми:

$$i_{yK2'} = k_{yK2'} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K2'(0)},$$

$$i_{yK2'} = 1,0 \cdot \sqrt{2} \cdot 2,209 = 3,124 \text{ кА.}$$

У формулі приймаємо $k_{yK2'} = 1,0$.

5) Ударний струм у точці К3:

$$i_{yK3} = k_{yK3} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K3(0)},$$

$$i_{yK3} = 1,0 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,624 = 0,883 \text{ кА.}$$

У формулі приймаємо $k_{yK3} = 1,0$.

Результати розрахунку струмів трифазного КЗ у початковий момент часу в електричній мережі напругою до 1 кВ в точках К3 наведені в табл. 6.1.

Результати розрахунку ударного струму в електричній мережі напругою до 1 кВ в точках К3 наведені в табл. 6.1.

					<i>MP 5.8.14.1.291 ПЗ</i>	Арк.
						78
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

6.2 Розрахунок струмів однофазного короткого замикання

Однофазні КЗ розраховують для перевірки надійності вимикання лінії у разі пробою ізоляції та появи на корпусі устаткування потенціалу, величина якого небезпечна для життя персоналу. Тому інтерес становить мінімально можлива величина струму однофазного КЗ, яка буде в кінці ділянки, що захищається, тому що цей струм має бути достатнім для спрацювання захисту (запобіжника, розчіплювача автомата або вимикача чи запобіжника в колі 10(6) кВ, якщо захист у колі 0,38 кВ нечутливий.

Початкове діюче значення періодичної складової струму однофазного металевого КЗ в електричній мережі наругою до 1 кВ визначається за виразом:

$$I_k^{(1)} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_T^{(1)}}{3} + Z_{nm}}, \quad (6.31)$$

де U_ϕ – фазна напруга мережі, В;

$Z_T^{(1)}$ – повний опір знижувального трансформатора струмам однофазного КЗ, значення якого залежить від потужності та схеми з'єднання трансформаторів, МОм.

Z_{nm} – повний опір петлі "фаза-нуль" від трансформатора до точки КЗ, що вимірюваний при дослідженнях або знайдений з розрахунків, МОм.

Опір трансформатора струмам нульової послідовності значною мірою залежить від схеми з'єднання обмоток трансформатора.

Опір петлі "фаза-нуль" для кола з n послідовно з'єднаних ділянок визначається за формулою:

$$Z_{nm} = \sum_{i=1}^n z_{n.nm.i} \cdot l_i, \quad (6.32)$$

де $z_{n.nm.i}$ – питомий опір петлі "фаза-нуль" кожної наступної ділянки від трансформатора до точки КЗ, МОм/м;

l_i – довжина i -ї ділянки, м.

					MP 5.8.141.291 ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Опори контактів шин та апаратів не враховуються, бо розрахунки за формулою (6.31) дають деякий запас внаслідок додавання $Z_T^{(1)} / 3$ та $Z_{n.T}$.

Визначаємо струми однофазного КЗ у точках К1, К2, К3 для схеми, яка приведена на рис. 6.2.

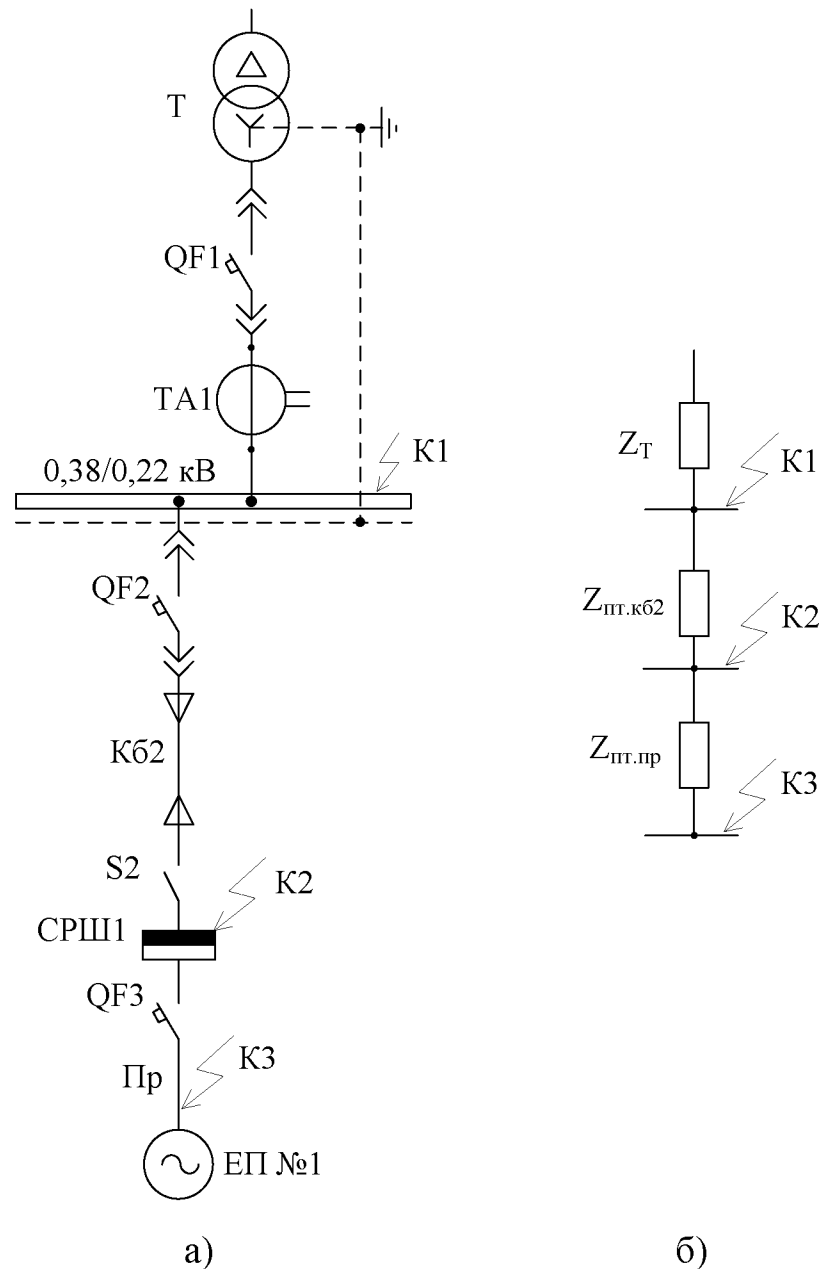


Рисунок 6.2 – Розрахункова схема (а) та схема заміщення (б) для розрахунку струмів однофазного короткого замикання

З табл. Н.3 [2] для трансформатора з номінальною потужністю 250 кВА та схемою з'єднання обмоток трансформатора "трикутник – зірка з нейтраллю" (Δ/Y_n)

					MP 5.8.141.291 ПЗ	Арк.
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		80

повний опір струму однофазного КЗ $Z_T^{(1)} = 86,3$ мОм. За формулою (6.31) струм однофазного металевого КЗ в точці К1:

$$I_{\kappa}^{(1)} = \frac{220}{\frac{86,3}{3}} = 7,648 \text{ кА.}$$

З табл. Н.7 [2] повні питомі опори $Z_{n,mm}$ ланцюга "фаза-нуль" для чотирижильних кабелів та проводів з алюмінієвими жилами наступні: $z_{n,mm,КЛ2} = 4,43$ мОм/м, $z_{n,mm,лр} = 29,64$ мОм/м.

Повний опір петлі "фаза-нуль" до точки К2 визначаємо за відношенням:

$$Z_{mm2} = Z_{mm,К62} = z_{n,mm,К62} \cdot l_{К62}$$

$$Z_{mm2} = 4,43 \cdot 25 = 110,75 \text{ мОм.}$$

За формулою (6.30) струм однофазного металевого КЗ в точці К2:

$$I_{\kappa}^{(1)} = \frac{220}{\frac{86,3}{3} + 110,75} = 1,577 \text{ кА.}$$

Повний опір петлі "фаза-нуль" до точки К3 визначаємо за відношенням:

$$Z_{mm3} = Z_{mm2} + Z_{mm,лр} = Z_{mm2} + z_{n,mm,лр} \cdot l_{лр},$$

$$Z_{mm3} = 110,75 + 29,64 \cdot 18,5 = 659,09 \text{ мОм.}$$

За формулою (6.30) струм однофазного металевого КЗ в точці К3:

$$I_{\kappa}^{(1)} = \frac{220}{\frac{86,3}{3} + 659,09} = 0,32 \text{ кА.}$$

Результати розрахунку струмів однофазного КЗ в електричній мережі напругою 0,38 кВ у точках К1, К2 і К3 наведені в табл. 6.1.

					<i>MP 5.8.14.1.291 ПЗ</i>	Арк.
						81
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.1 – Результати розрахунку струмів трифазного та однофазного короткого замикання в різних точках електричної мережі 0,38 кВ

СРШ	Номер ЕП	Струм трифазного КЗ					Струм однофазного КЗ			Ударний струм КЗ				
		I_{K3} , кА	$I_{K2'}$, кА	I_{K2} , кА	$I_{K1'}$, кА	I_{K1} , кА	I_{K3} , кА	I_{K2} , кА	I_{K1} , кА	i_{yK3} , кА	$i_{yK2'}$, кА	i_{yK2} , кА	$i_{yK1'}$, кА	i_{yK1} , кА
СРШ1	1	0.624	2.209	2.695			0.320	1.577		0.883	3.124	3.811		
	2	0.657												
	3	0.669												
	4	0.689												
	5	0.766												
	6	0.835												
	7	0.792												
	8	0.760												
СРШ2	9	1.045	3.438	4.604			0.652	4.403	7,648	1.477	4.862	6.511		
	10	1.154												
	11	1.087												
	12	0.964												
	13	0.907												
	14	0.857												
	15	1.075												
	16	0.954												
	17	0.899												
	18	0.850												
	19	1.062												
	20	0.944												
	21	0.890												
	22	0.882												
СРШ3	23	1.817	3.814	5.221			1.597	6.285		2.570	5.394	7.384		
	24	1.848												
	25	1.843												
	26	1.813												
СРШ4	27	0.889	3.533	4.755			0.514	5.148		1.257	4.997	6.725		
	28	0.919												
	29	1.763												
	30	0.811												
	31	0.761												
	32	0.919												
	33	0.889												
	34	0.777												
	35	0.717												
	36	0.678												

7. ВИБІР ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ

Вибір та перевірка всіх апаратів напругою до 1 кВ мають відповідати таким умовам:

1) міцності ізоляції для роботи в тривалому режимі та при короткочасних перенапругах:

$$U_{ном.е.а} \geq U_{ном.м} \quad (7.1)$$

де $U_{ном.е.а}$, $U_{ном.м}$ – номінальна напруга ЕА та номінальна напруга електричної мережі (установки) у якій застосовується ЕА відповідно;

2) допустимого нагрівання струмами в тривалому режимі:

$$I_{ном.е.а} \geq I_{пер} \quad (7.2)$$

де $I_{ном.е.а}$, $I_{пер}$ – номінальний струм ЕА та струм у режимі перевантаження відповідно, тобто тривалий максимальний робочий струм, який може через нього протікати;

3) відповідності навколишньому середовищу (нормальне, пожежонебезпечне, вибухонебезпечне та ін.), роду установки (внутрішня, зовнішня) та конструктивному виконанню (висувна, стаціонарна) та ін.;

4) параметрам основної функціональної характеристики: комутаційні ЕА – струм вимикання (вмикання) при КЗ (комутаційна здатність), ЕА захисту – номінальний струм плавкої вставки запобіжника чи уставки розчіплювача автомата.

Перевірку обраних ЕА проводять за їх стійкістю та працездатністю при наскрізних струмах КЗ. Мають виконуватися такі умови:

5) струм електродинамічної стійкості ЕА:

$$i_{дин} \geq i_y \quad (7.3)$$

					MP 5.8.14.1.291 ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

де i_y – розрахунковий ударний струм;

б) допустимий струм термічної стійкості апарата I_T за допустимий час термічної стійкості t_T :

$$I_T^2 \cdot t_T \geq I_K^2 \cdot t \quad (7.4)$$

де I_K та t – розрахункові параметри струму КЗ та дійсного часу вимикання КЗ відповідно.

7.1 Вибір автоматичних вимикачів

Автоматичний вимикач – це комутаційний апарат, призначений для автоматичного розмикання електричних кіл при ненормальних режимах (струмах КЗ або перевантаженнях) та нечастих вмиканнях і розмиканнях у нормальних режимах роботи.

Номінальна напруга автоматів обирається як:

$$U_{ном.а} \geq U_{ном.м} \quad (7.5)$$

Номінальний струм автоматів та номінальні струми розчеплювачів не повинні бути меншими за струм режиму перевантаження:

$$I_{ном.а} \geq I_{пер} \quad (7.6)$$

$$I_{ном.р} \geq I_{пер} \quad (7.7)$$

У формулах (7.6) та (7.7) беруться найближчі значення номінальних струмів автоматів та розчеплювачів. Автомати звичайно мають кілька номінальних струмів розчіплювача. Найбільше значення номінального струму розчіплювача дорівнює номінальному струму автомата, тому $I_{ном.а} \geq I_{ном.р}$.

Струм режиму перевантаження визначається за виразом:

					MP 5.8.141.291 ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{пер} \geq K_{рез} \cdot I_p, \quad (7.8)$$

де $K_{рез}$ – коефіцієнт резервування;

I_p – розрахунковий струм (обирається залежно від місця знаходження ЕА в схемі електропостачання).

Уставка струму спрацювання від перевантаження $I_{с.н}$ (уставка струму теплового розчіплювача $I_{у.т.р}$) обирається з умови:

$$I_{с.н} = I_{у.т.р} \geq K \cdot I_p, \quad (7.9)$$

де K – коефіцієнт, який приймається 1,1 для автомата вводу QF1 та для автомата QF2, 1,25 – для автомата QF3 або 1,0 на лініях для силових ЕП, які не мають у своєму складі ЕД.

У формулі (7.9) для ВА вводу QF1 як розрахунковий струм приймається струм режиму перевантаження трансформатора $I_{пер}$; для ВА QF2 – розрахунковий струм другого рівня електропостачання $I_{р.2}$; для ВА QF3 – розрахунковий струм першого рівня електропостачання одного ЕП $I_{р.1}$ (номінальний струм ЕП $I_{ном.ЕП}$ при $k_3 = 1,0$).

У лініях з лампами ДРЛ (ДРІ) за умов кратності пускового струму 2,25-3 та його тривалості 60-90 с уставка струму спрацювання від перевантаження (уставка струму теплового розчіплювача) обирається як:

$$I_{с.н} = I_{у.т.р} \geq 1,3 \cdot I_{р.о}, \quad (7.10)$$

де $I_{р.о}$ – розрахунковий струм лінії освітлення, А.

Для ЛР та ЛЛ низького тиску уставка струму спрацювання від перевантаження (уставка струму теплового розчіплювача) обирається як:

$$I_{с.н} = I_{у.т.р} \geq I_{р.о}, \quad (7.11)$$

					MP 5.8.141.291 ПЗ	Арк.
						85
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Для ЛЛ низького тиску пускові струми не враховуються, так як їх тривалість становить 6-8 с, і за цей час лампи мають різночасне вмикання. ЛР мають пускові струми до 6 номінальних струмів, але їх тривалість всього декілька мілісекунд.

Автомати не повинні вимикати ділянки, які захищають, при короточасних перевантаженнях (пускові струми, пікові струми та ін.).

Для автомата вводу QF1 спрацювання відсічки розчіплювача миттєвої дії $I_{c.в}$ визначається за формулою:

$$I_{c.в} = (6 - 8) \cdot I_{ном.Т}, \quad (7.12)$$

де $I_{ном.Т}$ – номінальний струм трансформатора на стороні НН.

У формулі (7.12) більші кратності приймаються для трансформаторів з малою номінальною потужністю ($S_{ном.Т} \leq 400$ кВА), які мають більші опори та відповідно менші струми КЗ.

Умова перевірки пікових струмів для групи ЕП (автомат QF2) і пікових струмів для одного ЕП (автомат QF3) полягає у виборі уставки струму спрацювання відсічки миттєвої дії $I_{c.в}$ (уставки струму електромагнітного розчіплювача $I_{у.е.р}$) більше цих струмів відповідно не менш, ніж на 25%, так як похибка від розкиду характеристик може досягати 15%

$$I_{c.в} = I_{у.е.р} \geq 1,25 \cdot I_{пик}, \quad (7.13)$$

$$I_{c.в} = I_{у.е.р} \geq 1,25 \cdot I_{пуск}, \quad (7.14)$$

де $I_{пик}$ – піковий струм групи ЕП за формулами (3.39), (3.40) та пусковий струм одиночного ЕП за формулою (3.12) відповідно (дані пускових та пікових струмів беруться з результатів розрахунків розділу 3).

У лініях з ККУ струм спрацювання відсічки (електромагнітного розчіплювача) обирається за виразом:

$$I_{c.в} = I_{у.е.р} \geq 1,3 \cdot I_{ном.ККУ}, \quad (7.15)$$

					MP 5.8.14.1.291 ПЗ	Арк.
						86
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

де $I_{ном.ККУ} = \frac{Q_{ном.ККУ}}{\sqrt{3}U_{ном}}$ – номінальний струм ККУ.

Як комутаційний апарат ВА перевіряють щодо здатності вимикання за умови:

$$I_{ном.в.а} \geq I_{п.о} = I_{к}^{(3)}, \quad (7.16)$$

де $I_{ном.в.а}$ – номінальний струм вимикання автомата при нормованих умовах роботи;

$I_{п.о} = I_{к}^{(3)}$ – початкове діюче значення періодичної складової струму трифазного КЗ. Для автоматів вводу та секційних автоматів цей струм визначають для металевих КЗ без перехідних опорів, для інших автоматів (QF2, QF3) – з урахуванням опору контактів $R_{к}$.

Для чутливості захисту (надійного його спрацювання) мінімальний струм КЗ (звичайно це струм однофазного КЗ у найбільш віддаленій точці лінії, яка захищається) має перевищувати уставки розчеплювачів залежно від їх типів у таких співвідношеннях:

– для розчіплювача миттєвої дії (електромагнітного або напівпровідникового)

з номінальним струмом більше 100А:

$$I_{к}^{(1)} \geq 1,25 \cdot I_{с.в}, \quad (7.17)$$

при струмі до 100 А включно:

$$I_{к}^{(1)} \geq 1,4 \cdot I_{с.в}, \quad (7.18)$$

– для розчіплювача уповільненої дії:

$$I_{к}^{(1)} \geq 3 \cdot I_{с.в}, \quad (7.19)$$

Вибірковість дії послідовно встановлених автоматів забезпечується за умови, що їх захисні характеристики на карті селективності не повинні перетинатися, до

					<i>MP 5.8.14.1.291 ПЗ</i>	Арк.
						87
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

того ж уставки струму розчеплювачів уповільненої дії й миттєвої дії у автомата, розташованого ближче до ЕП, мають бути в 1,5 рази менші, ніж у більш віддаленого автомата [2].

7.2 Вибір автоматів живильної та розподільної мережі цеху

Вибір автомата вводу QF1: обираємо автомат з електромагнітним та тепловим розчеплювачем ВА-2004N/400.

За формулою (7.5) номінальна напруга автомата обирається як:

$$660 \geq 380\text{В.}$$

За формулою (5.1) визначимо номінальний вторинний струм трансформатора:

$$I_{\text{ном.Т}} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 379,84 \text{ А.}$$

Для одно трансформаторної ПС без резервування на стороні НН і за відсутності даних про систематичне перевантаження коефіцієнт резервування приймається $K_{\text{рез}} = 1,0$, тому струм перевантаження трансформатора за формулою (7.8) дорівнює:

$$I_{\text{пер}} = 1,0 \cdot 379,84 = 379,84 \text{ А.}$$

Тоді за формулою (7.6) номінальний струм автомата ВА-2004/400:

$$I_{\text{ном.а}} = 400 \geq I_{\text{пер}} = 379,84 \text{ А.}$$

Для автомату ВА-2004N/400 номінальні струми теплового розчеплювача $I_{\text{ном.т.р}}$ наступні: 250, 315, 350, 400 А. Тоді за формулою (7.7) номінальний струм теплового розчеплювача:

					<i>MP 5.8.14.1.291 ПЗ</i>	Арк.
						88
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{ном.т.р} = 400 \geq I_{пер} = 379,84 \text{ А.}$$

Для автомату ВА-2004N/400 кратність струму спрацювання (уставки) теплового розчеплювача $I_{у.т.р}$ до номінального струму теплового розчеплювача $I_{ном.т.р}$ ($I_{у.т.р} / I_{ном.т.р}$) становить 1,25. Таким чином, уставка струму теплового розчеплювача:

$$I_{у.т.р} = 1,25 \cdot I_{ном.т.р} = 1,25 \cdot 400 = 500 \text{ А.}$$

За формулою (7.9):

$$I_{у.т.р} = 500 \text{ А} > 1,1 \cdot 379,84 = 417,82 \text{ А.}$$

Для автомату ВА-2004N/400 у разі наявності теплового розчеплювача відношення струму спрацювання відсічки $I_{с.в.}$ (електромагнітного розчеплювача $I_{у.е.р}$) до номінального струму теплового розчеплювача $I_{ном.т.р}$ ($I_{у.е.р} / I_{ном.т.р}$) становить 10. Таким чином, струм спрацювання відсічки (електромагнітного розчеплювача

$$I_{с.в.} = I_{у.е.р} = 10 \cdot I_{ном.т.р} = 10 \cdot 400 = 4000 \text{ А.}$$

За формулою (7.12)

$$I_{с.в.} = 4000 \text{ А} > 1,25 \cdot I_{нік} = 1,25 \cdot 426,46 = 533,08 \text{ А.}$$

При перевірці вимикання струму трифазного КЗ автоматом вводу беремо струм трифазного КЗ в точці К1 (без урахування R_K) з табл. 6.1 $I_{К1(0)} = 7,428 \text{ кА}$. Для автоматів ВА-2004N/400 вимикаюча гранична комутаційна здатність (ВГКЗ) при $I_{ном.а} = 400 \text{ А}$ становить $I_{ном.в.а} = 35 \text{ кА}$. За формулою (7.16):

$$35 \text{ кА} > 7,428 \text{ кА.}$$

					<i>MP 5.8.141.291 ПЗ</i>	Арк.
						89
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Для перевірки чутливості захисту з табл. 6.1 струм однофазного КЗ на шинах НН КТП $I_k^{(1)} = 7,648$ кА. За формулою (7.17) для електромагнітного розчеплювача з номінальним струмом більше 100А:

$$I_k^{(1)} = 7,648 > 1,25 \cdot 4 = 5 \text{ кА.}$$

Остаточно обираємо вимикача автоматичний ВА-2004N/400 з такими параметрами: $U_{ном.а} = 660$ В, $I_{ном.а} = 400$ А, $I_{ном.т.р.} = 400$ А, $I_{у.т.р.} = 500$ А, $I_{у.е.р.} = 4000$ А, $I_{ном.в.а} = 35$ кА. Дані цього автомата наводяться в табл. 7.1.

Таблиця 7.1 – Каталогні та розрахункові дані автомата QF1 типу ВА-2004N/400

Умова вибору	Каталожні дані	Розрахункові дані
За номінальною напругою $U_{ном.а} \geq U_{ном.м}$	$U_{ном.а} = 660$ В	$U_{ном.а} = 380$ В
За номінальним струмом автомата $I_{ном.а} \geq I_{пер}$	$I_{ном.а} = 400$ А	$I_{пер} = K_{рез} \cdot I_{ном.Т} =$ $= 1,0 \cdot 379,84 = 379,84$ А
За номінальним струмом розчеплювача $I_{ном.р} \geq I_{пер}$	$I_{ном.т.р.} = 400$ А	$I_{пер} = K_{рез} \cdot I_{ном.Т} =$ $= 1,0 \cdot 379,84 = 379,84$ А
За номінальними струмом автомата та його розчеплювачів $I_{ном.а} \geq I_{ном.р}$	$I_{ном.а} = 400$ А	$I_{ном.р} = 400$ А
За струмом уставки теплового розчеплювача $I_{с.п} = I_{у.т.р} \geq 1,1 \cdot I_{пер}$	$I_{у.т.р.} = 1,25 \cdot 400 =$ $= 500$ А	$1,1 \cdot I_{пер} = 1,1 \cdot 379,836 =$ $= 417,82$ А
За умови відбудови від пікових струмів $I_{у.е.р} \geq (6 - 10) \cdot I_{ном.Т}$	$I_{у.е.р} = 10 \cdot I_{ном.т.р.} =$ $= 10 \cdot 400 = 4000$ А	$1,25 \cdot I_{тк} = 1,25 \cdot 426,46 =$ $= 533,08$ А
За номінальним струмом вимикання автомата $I_{ном.в.а} = I_{п.(0)} = I_k^{(3)}$	$I_{ном.в.а} = 35$ кА	$I_{к1(0)} = 7,428$ кА
За умовою чутливості $I_k^{(1)} \geq 1,25 \cdot I_{с.в}$	$1,25 \cdot I_{с.в} = 1,25 \cdot 4 =$ $= 5$ кА	$I_k^{(1)} = 7,648$ кА

Аналогічно проводимо розрахунок для вибору лінійних автоматів і автоматів до ЕП. Результати записуємо до табл. 7.2 та 7.3 відповідно.

					MP 5.8.14.1.291 ПЗ	Арк.
						90
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 7.2 – Результати вибору лінійних автоматів

Живильна лінія	Тип автомата	$U_{ном.а},$ В	$I_{ном.а},$ А	$I_{ном.т.р},$ А	$I_{у.т.р},$ А	$I_{у.е.р},$ А	$I_{ном.в.а},$ А
До РП НН	ВА-2004N/400	660	400	400	500	4000	35
До СРШ1	ВА-2004N/63	660	40	40	50	400	15
До СРШ2	ВА-2004N/125	660	80	80	100	800	20
До СРШ3	ВА-2004N/250	660	160	160	200	1600	35
До СРШ4	ВА-2004N/125	660	80	80	100	800	20
До ЦРО	ВА-2004N/63	660	20	20	25	200	15

Однолінійна схема живлення обладнання цеху з позначенням ЦТП та лінійних автоматів наведена в додатку Б.

Таблиця 7.3 – Результати вибору автоматів, що захищають ЕП

Живильна лінія	Тип автомата	$U_{ном.а},$ В	$I_{ном.а},$ А	$I_{ном.т.р},$ А	$I_{у.т.р},$ А	$I_{у.е.р},$ А	$I_{ном.в.а},$ А
1	ВА-2017	380	16	16	20	160	6
2	ВА-2017	380	16	16	20	160	6
3	ВА-2017	380	2	2	2,5	20	6
4,6,8	ВА-2017	380	2	2	2,5	20	6
5	ВА-2017	380	10	10	12,5	100	6
7	ВА-2017	380	10	10	12,5	100	6
9	ВА-2017	380	2	2	2,5	20	6
10	ВА-2017	380	2	2	2,5	20	6
11-14	ВА-2017	380	10	10	12,5	100	6
15-18	ВА-2017	380	10	10	12,5	100	6
19-22	ВА-2017	380	10	10	12,5	100	6
23-26	ВА-2017	380	32	32	40	320	6
27	ВА-2017	380	16	16	20	160	6
28,32	ВА-2017	380	2	2	2,5	20	6
29	ВА-2017	380	32	32	40	320	6
30	ВА-2017	380	4	4	5	40	6
31	ВА-2017	380	4	4	5	40	6
33	ВА-2017	380	10	10	12,5	100	6
34	ВА-2017	380	16	16	20	160	6
35,36	ВА-2017	380	4	4	5	40	6

У додатку В наведена принципова схема розподільчої мережі від КТП до ЕП цеху.

7.3 Вибір рубильників

Рубильник – це неавтоматичний комутаційний пристрій з ручним приводом для вмикання електричних мереж постійного та змінного струмів до 1 кВ, який одночасно забезпечує створення видимого розриву кола для безпечного проведення ремонтних робіт. Рубильники обираються за наступними у мовами:

– за напругою:

$$U_{ном.руб} \geq U_{ном.м} , \quad (7.20)$$

– за струмом навантаження:

$$I_{ном.руб} \geq I_{пер} , \quad (7.21)$$

– за електродинамічною стійкістю:

$$i_{дин} \geq i_y , \quad (7.22)$$

– за термічною стійкістю:

$$I_m^2 \cdot t_m \geq I_k^2 \cdot t , \quad (7.23)$$

– конструктивним виконанням.

Виконуємо перевірку QS1 типу ВР-32, який встановлений на вводі розподільної шафи СРШ1. Каталожні дані рубильника наступні: номінальна напруга $U_{ном.р} = 660 \text{ В}$, номінальний струм $I_{ном.р} = 250 \text{ А}$, струм електродинамічної стійкості $i_{дин} = 20 \text{ кА}$, струм односекундної термічної стійкості – $64 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$.

За формулою (7.20) номінальна напруга рубильника визначається як:

$$660 \text{ В} \geq 380 \text{ В} ,$$

За даними розрахунків п.3.2 розрахунковий струм лінії до СРШ1 $I_{р,2} = 38,74 \text{ А}$. За формулою (7.21) номінальний струм рубильника:

					МР 5.8.14.1.291 ПЗ	Арк.
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		92

$$250 A \geq 38,74 A.$$

За даними розрахунків п.6.1 ударний струм у точці К2' $i_y = 3,124 A$. За формулою (7.22):

$$20 \kappa A \geq 3,124 A.$$

За даними розрахунків п.6.1 струм трифазного КЗ у точці К2' перед рубильником $I_{K2'(0)} = 2,695 A$, тоді $I_{K2'(0)}^2 \cdot t = 2,695^2 \cdot 1 = 7,263 \kappa A^2 \cdot c$. За формулою (7.23):

$$64 \kappa A^2 \cdot c > 7,263 \kappa A^2 \cdot c.$$

Таким чином, рубильник вводу, що встановлений у шафі СРШ1, відповідає усім умовам вибору. Результати вибору рубильника заносимо до табл. 7.4

Таблиця 7.4 – Каталожні та розрахункові дані рубильника QS1 типу ВР-32

Умова вибору	Каталожні дані рубильника	Розрахункові дані
За номінальною напругою рубильника $U_{ном.руб} \geq U_{ном.м}$	$U_{ном.руб} = 660 B$	$U_{ном.м} = 380 B$
За номінальним струмом рубильника $I_{ном.руб} \geq I_{пер}$	$I_{ном.руб} = 250 A$	$I_{р.2} = 38,74 A$
За струмом електродинамічної стійкості $i_{дин} \geq i_y$	$i_{дин} = 20 \kappa A$	$i_y = 3,124 A$
За термічною стійкістю: $I_m^2 \cdot t_m \geq I_k^2 \cdot t$	$I_m^2 \cdot t_m = 64 \kappa A^2 \cdot c$	$I_{K2'(0)}^2 \cdot t = 7,263 \kappa A^2 \cdot c$

Вибір рубильників для силових шаф СРШ2-СРШ4 та шафи освітлення ЩРО виконується аналогічно. За результатами перевірки прийнятий рубильник типу ВР-32 відповідає усім умовам вибору.

					MP 5.8.14.1.291 ПЗ	Арк.
						93
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

7.4 Узгодження вибраного перерізу провідників електричної мережі з вибраними апаратами захисту

Переріз проводів та кабелів, які було обрані за умовами нагрівання та допустимим тривалим струмом з урахуванням умов прокладки та відхилення параметрів навколишнього середовища від стандартних умов перевіряємо за умовою узгодження відповідності обраним апаратам захисту за формулою:

$$I'_{дон} \geq K_{зах} \cdot I_{зах}, \quad (7.24)$$

де $K_{зах}$ – нормована ПУЕ кратність допустимого струмового навантаження на провідники щодо параметрів захисних апаратів;

$I_{зах}$ – струм апарату захисту.

Згідно з ПУЕ [1] для електричних мереж, які обов'язково повинні мати захист від перевантаження, умова узгодження для автоматів з тепловим розчеплювачем з нерегульованою обернено залежною від струму характеристикою для провідників усіх марок наступна:

$$I'_{дон} \geq I_{ном.т.р}, \quad (7.25)$$

де $I_{ном.т.р}$ номінальний струм нерегульованого теплового розчеплювача.

Проводимо узгодження обраного перерізу кабелів живильної мережі виробничого цеху №3 для СРШ1-СРШ4, ЩРО, а також перерізу проводів розподільної мережі до електроприймачів, відповідно до обраних автоматів для схеми електропостачання на рис. 3.1.

У схемі електропостачання цеху захист живильної та розподільної мережі здійснюється автоматами з тепловими та електромагнітними розчеплювачами.

1) За даними п.5.2.1 до СРШ1 обраний для прокладення кабель АВВГ (3x16+1x10) з $I'_{дон} = 49,35 \text{ A}$. Для захисту даного кабелю обраний автомат

					MP 5.8.14.1.291 ПЗ	Арк.
						94
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

ВА-200N/63 з номінальним струмом теплового розчеплювача $I_{ном.т.р} = 40 \text{ А}$. За формулою (7.25):

$$49,35 \text{ А} > 40 \text{ А}.$$

Умова виконується. Отже остаточно обираємо кабель АВВГ (3х16+1х10). Аналогічно узгоджуються перерізи обраних кабелів живильної мережі з іншими автоматами. Результати узгоджень наведені в табл.7.5.

Таблиця 7.5 – Результати узгодження перерізу кабелів живильної мережі з апаратами захисту

Живильна лінія	Обраний переріз кабелю, мм ²	$I'_{дон}, \text{ А}$	$I_{ном.т.р}, \text{ А}$	Остаточно обраний кабель	$I'_{дон}, \text{ А}$
До СРШ1	16	49.35	40	АВВГ 3х16+1х10	49,35
До СРШ2	35	74.02	80	АВВГ 3х50+1х25	90,47
До СРШ3	95	139.82	160	АВВГ 3х120+1х70	164,50
До СРШ4	50	90.47	80	АВВГ 3х50+1х25	90,47
До ЩРО	2,5	15.63	20	АВВГ 3х4+1х2,5	22,21

2) Для розподільної мережі аналогічно узгоджуються перерізи обраних проводів.

За даними п.5.2.2 до ЕП №1 обраний для прокладення провід АПВЗ (1х2,5) з $I'_{дон} = 17,86 \text{ А}$. Для захисту даного проводу обраний автомат ВА-2017 з номінальним струмом теплового розчеплювача $I_{ном.т.р} = 16 \text{ А}$. За формулою (7.25):

$$17,86 \text{ А} > 16 \text{ А}.$$

Умова виконується. Аналогічно узгоджуються перерізи обраних проводів розподільної мережі з іншими автоматами. Результати узгоджень наведені в табл. 7.6.

					MP 5.8.14.1.291 ПЗ	Арк.
						95
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 7.6 – Результати узгодження перерізу кабелів розподільної мережі з апаратами захисту

Живильна лінія	Обраний переріз проводу, мм ²	$I'_{доп}, A$	$I_{ном.т.р}, A$	Остаточний обраний провід	$I'_{доп}, A$
до ЕП №1	2,5	17,86	16	АПВ3 (1x2,5) Т15	17,86
до ЕП №2	2,5	17,86	16	АПВ3 (1x2,5) Т15	17,86
до ЕП №3	2,5	17,86	2	АПВ3 (1x2,5) Т15	17,86
до ЕП №4	2,5	17,86	2	АПВ3 (1x2,5) Т15	17,86
до ЕП №5	2,5	17,86	10	АПВ3 (1x2,5) Т15	17,86
до ЕП №6	2,5	17,86	2	АПВ3 (1x2,5) Т15	17,86
до ЕП №7	2,5	17,86	10	АПВ3 (1x2,5) Т15	17,86
до ЕП №8	2,5	17,86	2	АПВ3 (1x2,5) Т15	17,86
до ЕП №9	2,5	17,86	2	АПВ3 (1x2,5) Т15	17,86
до ЕП №10	2,5	17,86	2	АПВ3 (1x2,5) Т15	17,86
до ЕП №11	2,5	17,86	10	АПВ3 (1x2,5) Т15	17,86
до ЕП №12	2,5	17,86	10	АПВ3 (1x2,5) Т15	17,86
до ЕП №13	2,5	17,86	10	АПВ3 (1x2,5) Т15	17,86
до ЕП №14	2,5	17,86	10	АПВ3 (1x2,5) Т15	17,86
до ЕП №15	2,5	17,86	10	АПВ3 (1x2,5) Т15	17,86
до ЕП №16	2,5	17,86	10	АПВ3 (1x2,5) Т15	17,86
до ЕП №17	2,5	17,86	10	АПВ3 (1x2,5) Т15	17,86
до ЕП №18	2,5	17,86	10	АПВ3 (1x2,5) Т15	17,86
до ЕП №19	2,5	17,86	10	АПВ3 (1x2,5) Т15	17,86
до ЕП №20	2,5	17,86	10	АПВ3 (1x2,5) Т15	17,86
до ЕП №21	2,5	17,86	10	АПВ3 (1x2,5) Т15	17,86
до ЕП №22	2,5	17,86	10	АПВ3 (1x2,5) Т15	17,86
до ЕП №23	10	44,18	32	АПВ3 (1x10) Т20	44,18
до ЕП №24	10	44,18	32	АПВ3 (1x10) Т20	44,18
до ЕП №25	10	44,18	32	АПВ3 (1x10) Т20	44,18
до ЕП №26	10	44,18	32	АПВ3 (1x10) Т20	44,18
до ЕП №27	2,5	17,86	16	АПВ3 (1x2,5) Т15	17,86
до ЕП №28	2,5	17,86	2	АПВ3 (1x2,5) Т15	17,86
до ЕП №29	10	44,18	32	АПВ3 (1x10) Т20	44,18
до ЕП №30	2,5	17,86	4	АПВ3 (1x2,5) Т15	17,86
до ЕП №31	2,5	17,86	4	АПВ3 (1x2,5) Т15	17,86
до ЕП №32	2,5	17,86	2	АПВ3 (1x2,5) Т15	17,86
до ЕП №33	2,5	17,86	10	АПВ3 (1x2,5) Т15	17,86
до ЕП №34	2,5	17,86	16	АПВ3 (1x2,5) Т15	17,86
до ЕП №35	2,5	17,86	4	АПВ3 (1x2,5) Т15	17,86
до ЕП №36	2,5	17,86	4	АПВ3 (1x2,5) Т15	17,86

Аналіз результатів показує, що перерізи всіх проводів розподільної мережі задовольняють вимогам узгодження з апаратами захисту.

8. РОЗРАХУНОК ГРОЗОЗАХИСТУ ЦЕХУ

Захист електроустаткування будівель від прямих ударів блискавки здійснюється за допомогою блискавковідводів.

Блискавковідвід являє собою пристрій, що має висоту більшу ніж об'єкти які він захищає та через який струм блискавки, минаючи ці об'єкти, відводиться в землю. Блискавковідвід складається з блискавкоприймача, що безпосередньо сприймає на себе удар блискавки, струмовідводу та заземлювача.

Блискавковідводи по типу блискавкоприймача розділяються на стрижневі та тросові. Стрижневі блискавковідводи виконуються у вигляді вертикально встановлених стрижнів (щогл), з'єднаних із заземлювачем.

Надійність захисту від прямих ударів блискавки слід приймати:

0,99 - 0,999 – для об'єктів I рівня блискавкозахисту;

0,95 - 0,99 – для об'єктів II рівня блискавкозахисту;

0,9 - 0,95 – для об'єктів III рівня блискавкозахисту;

не нижче ніж 0,85 – для об'єктів IV рівня блискавкозахисту.

Розрахуємо грозозахист виробничого цеху №3 за наступними вихідними даними:

- 1) тип блискавковідводів – подвійний стрижневий.
- 2) висота блискавковідводів – 20 м;
- 3) Відстань між блискавковідводами – $L = 58$ м;
- 4) найбільша висота будівлі чи споруди, що захищається – $h_x = 8$ м;
- 5) розміри цеху, що захищається $B = 22$ м, $A = 48$ м;
- 6) рівень блискавкозахисту – III.

Зона захисту подвійного стрижневого блискавковідводу рис. 8.1 складається з зовнішніх областей зони захисту (напівконусів з габаритами h_0 , r_0), що виконуються за формулами для одиничних стрижневих блискавковідводів. Розміри внутрішніх областей визначаються параметрами h_0 і h_c , перший з яких задає максимальну висоту зони безпосередньо біля блискавковідводів, а другий – мінімальну висоту зони посередині між блискавковідводами [14].

					<i>MP 5.8.14.1.291 ПЗ</i>	Арк.
						97
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

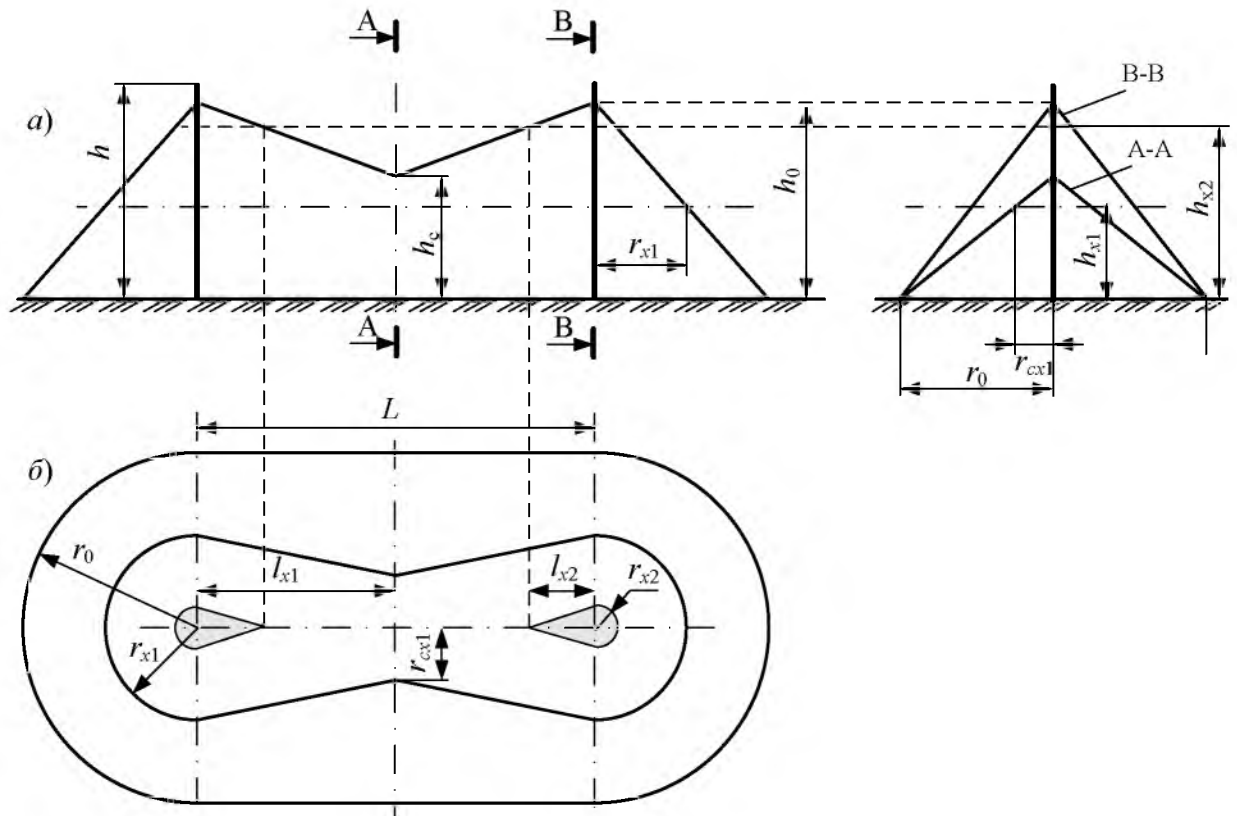


Рисунок 8.1 – Перетин зони захисту подвійного стрижневого блискавковідводу

Зона захисту одиничного стрижневого блискавковідводу висотою $h \leq 30$ м при надійності захисту $P_s = 0.9$, визначається рівняннями:

$$\begin{cases} h_{0n} = 0,85h_n \\ r_{xn} = \frac{r_{0n} \cdot (h_{0n} - h_x)}{h_{0n}} \\ r_{0n} = 1,2 \cdot h_n \end{cases} \quad (8.1)$$

За відстані між блискавковідводами $L \leq L_c$ межа зони не має провисання $h_c = h_0$.

За відстані між блискавковідводами $L_c \leq L \leq L_{max}$:

– висота h_c визначається за формулою [14]

$$h_c = \frac{L_{max} - L}{L_{max} - L_c} h_0. \quad (8.2)$$

– ширина горизонтального перерізу в центрі між блискавковідводами $2r_{cx}$ на висоті $h_x \leq h_c$:

$$r_{cx} = \frac{r_0(h_c - h_x)}{h_c} \quad (8.3)$$

Параметри: $L_c = 2,5h = 2,5 \cdot 20 = 50$ м; $L_{\max} = 5,75h = 5,75 \cdot 20 = 115$ м.

Визначимо розміри зовнішніх областей зони захисту – напівконусів з габаритами h_0 , r_0 (8.1):

$$h_{0n} = 0,85h_n = 0,85 \cdot 20 = 17 \text{ м};$$

$$r_{0n} = 1,2 \cdot h_n = 1,2 \cdot 20 = 24 \text{ м};$$

$$r_{xn} = \frac{r_{0n} \cdot (h_{0n} - h_x)}{h_{0n}} = \frac{24 \cdot (17 - 8)}{17} = 12,7 \text{ м}.$$

Так як виконується рівність $L_c \leq L \leq L_{\max}$ ($50 \text{ м} \leq 58 \leq 115 \text{ м}$) визначимо мінімальну висоту зони захисту з рівняння (8.2):

$$h_c = \frac{115 - 58}{115 - 50} \cdot 17 = 14,91 \text{ м}.$$

$$r_{cx} = \frac{r_0(h_c - h_x)}{h_c} = \frac{24(14,91 - 8)}{14,91} = 11,123 \text{ м}.$$

Зона захисту блискавковідводів цеху показана на рис. 8.2.

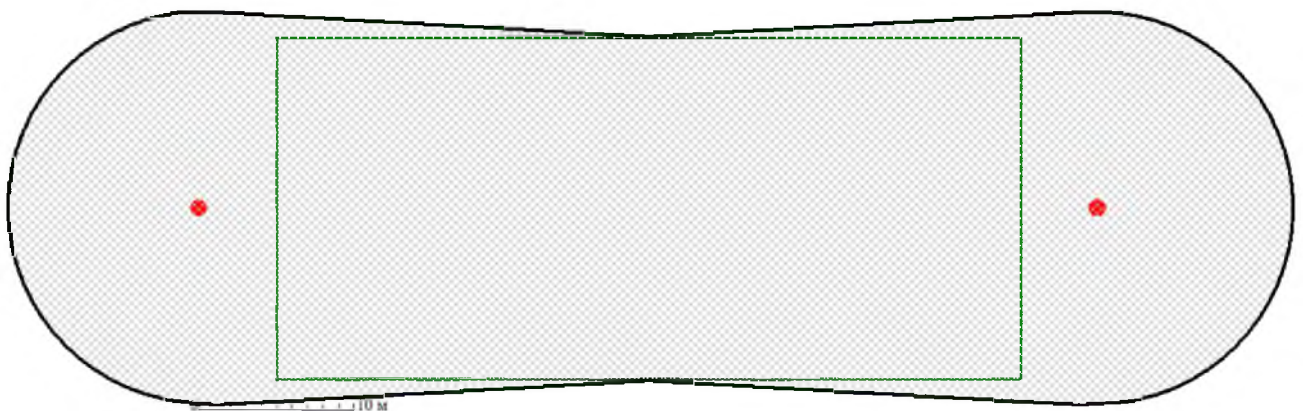


Рисунок 8.2 – Зона захисту блискавковідводів цеху

					<i>MP 5.8.14.1.291 ПЗ</i>	Арк.
						99
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

9. НАУКОВА ЧАСТИНА.

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ НЕСИНУСОЇДАЛЬНОСТІ

Робота потужних споживачів істотно впливає на форму сигналу напруги мережі, яка характеризується коефіцієнтом n -ої гармонічної складової напруги й коефіцієнтом викривлення синусоїдальної кривої напруги. Відхилення даних показників якості електроенергії від допустимих значень проявляється у вигляді втрат активної та реактивної потужності, скорочення терміну служби ізоляції електрообладнання, створення електромагнітних перешкод, які несприятливо впливають на всі складові електроенергетичної системи.

Перелік показників якості електричної енергії, засоби і умови їх контролю нормуються відповідно міждержавного стандарту ГОСТ 13109-97 [15]. Зважаючи на тенденцію України переймати світовий досвід та приймати певні нормативні документи, які додатково регулюють та доповнюють існуючі, було додано до нормативної бази ряд державних стандартів України, які регулюють питання визначення основних показників якості електроенергії: ДСТУ EN 61000-4-30:2010 [16], ДСТУ EN 50160:2014 [17]. В цих документах викладені методиками визначення та умовами контролю досліджуваних параметрів якості електроенергії, що стосуються визначення коефіцієнтів несинусоїдальності.

Несинусоїдальність напруги характеризується двома параметрами: коефіцієнтом n -ої гармонічної складової напруги $K_{(n)i}$ та коефіцієнтом викривлення синусоїдальної кривої напруги K_U .

Розрахунок показника $K_{(n)i}$ здійснюється за наступним алгоритмом. На першому етапі проводиться вимір фазної або міжфазної напруги. Вимір проводиться впродовж 24 годин. На основі отриманих даних розраховуються діючі значення напруги $U_{(n)i}$ за інтервал 0,2 с для кожної гармоніки n та визначаються коефіцієнти напруги $K_{U(n)i}$ за наступною формулою [17]:

$$K_{U(n)i} = \frac{U_{(n)i}}{U_{1(i)}} \cdot 100, \quad (9.1)$$

					MP 5.8.14.1.291 ПЗ	Арк.
						100
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

де n – номер гармоніки;

i – номер ітерації.

Наступним кроком визначається вже безпосередньо коефіцієнт n -ої гармонічної складової напруги $K_{(n)i}$ у відсотках як результат усереднення спостережень за інтервал часу T рівний 3 сек. за формулою [15]:

$$K_{U(n)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (K_{U(n)i})^2}{N}}. \quad (9.2)$$

При цьому кількість вимірів N повинно бути не менше 9.

Слід зазначити, що інший нормативний документ, який також регулює характеристики напруги в мережах електропостачання загального призначення ДСТУ EN 50160:2014 [17] рекомендує приймати інтервал часу усереднення таким, що дорівнює 10 хв.

Відповідно до ГОСТ 13109-97 та ДСТУ EN 50160:2014 коефіцієнт n -ої гармонічної складової напруги $K_{(n)i}$ для гармоніки з номером n не повинен перевищувати 5 %.

Визначення коефіцієнта викривлення синусоїдальної кривої напруги K_U здійснюється за наступним алгоритмом [15]:

1. Для кожного i -го спостереження за ustalений період часу визначають діюче значення гармонічних складових напруги для діапазону гармонік від 1 до k .

2. Значення викривлення синусоїдальної кривої напруги K_U для i -го спостереження знаходять за формулою [15]:

$$K_{U_i} = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{40} (U_{(n)i})^2}{U_{(1)i}^2}} \cdot 100. \quad (9.3)$$

					MP 5.8.14.1.291 ПЗ	Арк.
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		101

Далі здійснюється розрахунок коефіцієнта викривлення синусоїдальної кривої напруги K_U шляхом усереднення N спостережень за інтервал часу, що дорівнює 3 сек. за формулою:

$$K_U = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (K_{U_i})^2}{N}}. \quad (9.4)$$

Відповідно до ГОСТ 13109-97, нормально та гранично допустимі значення коефіцієнту K_U для розподільчих електричних мереж складають 8 % та 12 % відповідно. Разом з тим для ДСТУ EN 50160:2014 встановлено тільки одне гранично допустиме значення на рівні 8 %.

Аналіз якості електричної енергії у відповідності до ГОСТ 13109-97 за даними коефіцієнтами виконується шляхом їх порівняння з нормально та гранично допустимими значеннями. У випадку коли за період часу, в межах проміжку спостереження, що складає 95 %, значення коефіцієнтів не перевищує нормально допустиме значення та 0 % – гранично допустиме значення, електроенергія вважається якісною. Поряд із цим за ДСТУ EN 50160:2014 перевищення коефіцієнтом K_U граничного рівня вказує на незадовільні показники якості електроенергії.

Якщо брати до уваги нормативний документ ДСТУ EN 50160:2014 [17], то він також рекомендує знаходити значення загального коефіцієнта гармонічного спотворення, розрахованого за формулою:

$$THDU = \sqrt{\sum_{n=2}^{40} \left(\frac{U_n}{U_1} \right)^2}, \quad (9.5)$$

де U_1 – діюче значення першої гармоніки;

U_n – діючі значення вищих гармонік.

					<i>MP 5.8.14.1.291 ПЗ</i>	Арк.
						102
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Важливим питанням є визначення амплітуди основної та інших гармонічних складових вимірюваного сигналу. Документ ДСТУ EN 61000-4-30:2010 в пункті, що стосується визначення гармонічного ряду вказує посилання на ще один міжнародний стандарт ІЕС EN 61000-4-7:2002 [18]. В даному державному стандарті зазначена методика визначення гармонічного ряду, в основі якої лежить дискретне перетворення Фур'є, та рекомендації, щодо групування гармонічного спектра Фур'є до певної гармоніки або інтергармоніки. Так, цифрова обробка сигналів дозволяє забезпечити високу точність оцінки гармонічних складових напруги [19].

З метою визначення наявності гармонік проводять групування спектра по частотній області як показано на рис. 9а [18].

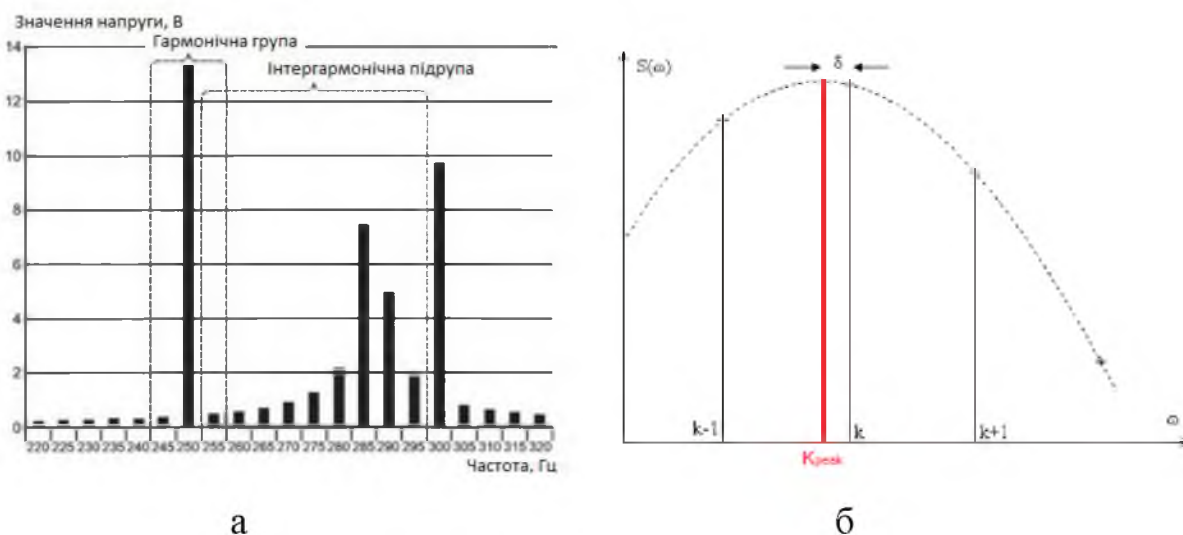


Рисунок 9.1 – Уточнення частоти досліджуваної гармоніки

На наступному етапі здійснюється розрахунок значення гармоніки на визначених діапазонах частот. При цьому, майже завжди період досліджуваного дискретного сигналу не буде кратний відстані між дискретними відліками як показано на рис. 9б, тому треба використовувати додаткові уточнюючі методи [19]. У зв'язку з цим, для уточнення частоти, амплітуди та фази досліджуваного сигналу доцільно використовувати метод кореляційної функції, що має найбільшу точність серед інших методів.

10. ОХОРОНА ПРАЦІ

10.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

10.1.1 Мікроклімат

Рівні небезпечних та шкідливих виробничих факторів у виробничих приміщеннях, а також на робочих місцях не повинні перевищувати величин, що визначаються нормами, зазначеними у ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ "Повітря робочої зони".

Природне та штучне освітлення на промисловому підприємстві повинно відповідати вимогам СНиП 23-05-95 "Природне та штучне освітлення".

Контроль за дотриманням температури повітря в цехах здійснюється згідно з ГОСТ 12.1.005-88 "Повітря робочої зони", який встановлює оптимальні допустимі мікрокліматичні умови робочого середовища, що залежать від характеру виробничих приміщень, пори року та категорії виконуваної роботи. Категорія робіт у цеху відповідає категорії II а (середньої важкості, енерговитрати 151-200 Ккал/год.) Для забезпечення мікрокліматичних умов повинно бути передбачене встановлення вентиляційної системи.

Крім води, що використовується в технологічному процесі виготовлення продукції, підприємство з виготовлення пакувальної продукції повинно бути обладнане системою подачі води для господарських та побутових потреб. Водопостачання та каналізація регулюються ГОСТ 2874-82, СНиП 2.04.01-85 "Внутрішній водопровід та каналізація будинків", СНиП 2.04.02-84 "Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди", БНіП 2.04.03-85 "Каналізація. Зовнішні мережі та споруди".

Мікрокліматичні умови виробничих приміщень характеризуються наступними показниками: температурою повітря, відотною вологістю повітря, швидкістю руху повітря, інтенсивністю теплового (інфрачервоного) випромінювання, температурою поверхні.

Для робочої зони виробничих приміщень встановлюються допустимі оптимальні мікрокліматичні умови з урахуванням тяжкості виконуваної роботи та періоду року. При одночасному виконанні в робочій зоні робіт різної категорії

					<i>MP 5.8.14.1.291 ПЗ</i>	Арк.
						104
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

важкості рівні показників мікроклімату повинні встановлюватись із врахуванням найбільш численної групи працівників.

В приміщенні цеху знаходиться розподільний пристрій НН від якого живляться усі споживачі цеху. Система електропостачання споживачів виконана на напругу 0,4 кВ. Мережа освітлення виконана на напругу 220 В. Мережа другого рівня електропостачання виконана кабелями АВВГ різних перерізів у повітрі всередині цеху, мережа першого рівня – проводом АПВ, прокладеним у сталевих трубах. У всіх випадках виключена можливість механічного пошкодження та великих розтягуючих зусиль кабелі та проводів. Для захисту електричних мереж встановлені автоматичні вимикачі. Все електрообладнання має заземлення.

10.1.2 Ступінь пожежної безпеки та вибухонебезпечності

Згідно з НАПБ Б.03.002-2007 "Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою" виробничий цех №3 з виготовлення до категорії "Д": Негорючі речовини та матеріали в холодному стані.

10.1.3 Небезпека ураження електричним струмом обслуговуючого персоналу

За ступенем електробезпеки виробничий цех відноситься до категорії з підвищеною небезпекою (2 клас). Для захисту працівників від ураження електричним струмом виробниче обладнання повинно відповідати наступним вимогам:

- 1) струмопровідні частини виробничого обладнання повинні бути надійно ізольовані або розташовані в недоступних для персоналу місцях;
- 2) металеві частини виробничого обладнання які, внаслідок пробою ізоляції струмопровідних частин можуть опинитися під напругою, повинні бути заземлені (занулені).

Розміщення виробничого обладнання у виробничих приміщеннях не повинно представляти небезпеку для персоналу та повинно відповідати діючим нормам технічного проектування СНиП та правилам техніки безпеки, ГОСТ 12.2.01-81.

					<i>MP 5.8.141.291 ПЗ</i>	Арк.
						105
<i>Змн.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

10.2 Розрахунок заземлюючого контуру цеху

Заземленням називають навмисне з'єднання металевих частин електроустановки з заземлюючим пристроєм.

Заземлюючий пристрій (ЗП) – це сукупність заземлювача та заземлюючих провідників.

Необхідно розрахувати заземлювальний пристрій цеху та заводської підстанції. Споживачі цеху отримують живлення від трансформатора 10/0,4 кВ з заземленою нейтраллю на стороні 0,4 кВ. Природних заземлювачів немає.

Вихідні дані:

Розміри цеху – $A \times B = 48 \times 22 \text{ м}^2$; ґрунт в місці будівлі чорнозем; кліматична зона – III;

Вертикальний електрод – кругла сталь $\varnothing 15 \text{ мм}$, довжина – $L_B = 5 \text{ м}$; глибина закладання $t = 0,7 \text{ м}$; Вид ЗП – контурне;

Горизонтальний електрод – смуга ($40 \times 4 \text{ мм}^2$).

Опір заземлюючого пристрою, до якого приєднані нейтраль джерела живлення або виводи джерела однофазного струму, у будь-який час року не повинне перевищувати 2, 4 і 8 Ом відповідно для лінійних напруг 660, 380 і 220 В джерела трифазного струму або 380, 220 і 127 В джерела однофазного струму. Цей опір необхідно забезпечувати з урахуванням використання всіх заземлювачів, приєднаних до PEN (PE) – провідника, якщо кількість відвідних ліній не менше двох.

Для питомого опору землі $\rho > 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ допускається збільшувати значення опору заземлення в $0,01 \cdot \rho$ раз, але не більш ніж в 10 разів, за винятком опору заземлюючих пристроїв і заземлювачів, що використовуються одночасно для електроустановок напругою вище 1 кВ.

Опір заземлювального пристрою нейтралі трансформатора 0,4 кВ згідно ПУЕ [1] повинен бути не більше $R_{3V} \leq 4 \text{ Ом}$.

Прийmemo опір заземлювального пристрою на рівні $R_{3V} = 4 \text{ Ом}$.

					<i>MP 5.8.14.1.291 ПЗ</i>	Арк.
						106
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунковий опір одного вертикального електрода визначається за виразом:

$$r_B = \frac{\rho_{розр}}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{2p + \frac{l}{2}}{2p - \frac{l}{2}} \right), \quad (10.1)$$

де r_B – розрахунковий опір одного вертикального електрода;

$K_{СЕЗ.В}$ – коефіцієнт сезонності;

$\rho_{розр} = \rho \cdot K_{СЕЗ.В}$ – розрахунковий питомий опір ґрунту;

ρ – питомий опір ґрунту, виміряний при нормальній вологості, Ом·м, приймається по табл. 10.2.

$K_{СЕЗ.В} = 1,5$ (III кліматичний район) – значення взяте з табл. 10.1;

$K_{СЕЗ.Г} = 2,3$ значення взяте з табл. 10.1;

$$p = t + \frac{l}{2}.$$

Для визначення питомого опору землі за розрахункове варто приймати його сезонне значення, що відповідає найменш сприятливим умовам.

Таблиця 10.1 – Коефіцієнти сезонності

Кліматична зона	Вид заземлювача		Додаткові відомості
	вертикальний	горизонтальний	
1	2	3	4
I	1,9	5,8	Глибина закладення вертикальних заземлювачів від поверхні землі 0,5...0,7м
II	1,7	4,0	Глибина закладення горизонтальних заземлювачів 0,3...0,8 м
III	1,5	2,3	
IV	1,3	1,8	

Примітка. Зона I має найбільш холодний, IV – теплий клімат;

Таблиця 10.2 – Питомий опір ґрунту ρ

Ґрунт	Торф	Глина, земля садова	Чорнозем	Суглинок	Кам'янистий ґрунт	Супісок	Пісок з галькою
ρ , Ом·м	20	40	50	100	200	300	800

					MP 5.8.141.291 ПЗ			Арк.
								107
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата				

Таким чином приймаємо $\rho = 50 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

$$r_B = \frac{\rho_{\text{розр}}}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{2p + \frac{l}{2}}{2p - \frac{l}{2}} \right) = \frac{50 \cdot 1,5}{2 \cdot \pi \cdot 5} \left(\ln \frac{2 \cdot 5}{15 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{2} \ln \frac{2 \left(0,7 + \frac{5}{2} \right) + \frac{5}{2}}{2 \left(0,7 + \frac{5}{2} \right) - \frac{5}{2}} \right) = 16,51 \text{ Ом}.$$

Визначаємо кількість вертикальних електродів без урахування екранування (розрахункове):

$$N'_{B.P} = \frac{r_B}{R_{3V}}; \quad (10.2)$$

де $N'_{B.P}$ – кількість вертикальних електродів без урахування екранування (розрахункове округлюємо до найбільшого кратного 2);

R_{3V} – граничний опір сполученого ЗП.

$$N'_{B.P} = \frac{r_B}{R_{3V}} = \frac{16,51}{4} = 4,12 \approx 6 \text{ шт.}$$

Визначаємо кількість вертикальних електродів з урахуванням екранування:

$$N_{B.P} = \frac{N'_{B.P}}{\eta_B} \quad (10.3)$$

де $N_{B.P}$ – кількість вертикальних електродів з урахуванням екранування;

η_B, η_Γ – коефіцієнти використання вертикального й горизонтального електродів, визначаються за табл. 10.3:

$$\eta = f(\text{тип ЗП, вид заземлювача}, \frac{a}{L}, N_B), \quad (10.4)$$

де a – відстань між вертикальними заземлювачами, м;

L – довжина вертикального заземлювача, м;

N_B – число вертикальних заземлювачів.

					MP 5.8.14.1.291 ПЗ	Арк.
						108
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 10.3 – Коефіцієнти використання вертикальних η_B і горизонтальних η_G електродів заземлювального пристрою

N_B	$\frac{a}{L}$						Додаткові відомості
	1		2		3		
	η_B	η_G	η_B	η_G	η_B	η_G	
4	0,69	0,45	0,78	0,55	0,85	0,70	Чисельник для контурного ЗП, Знаменник — для рядного
	0,74	0,77	0,83	0,89	0,88	0,92	
6	0,62	0,40	0,73	0,48	0,80	0,64	
	0,63	0,71	0,77	0,83	0,83	0,88	
10	0,55	0,34	0,69	0,40	0,76	0,56	
	0,59	0,62	0,75	0,75	0,81	0,82	
20	0,47	0,27	0,64	0,32	0,71	0,45	
	0,49	0,42	0,68	0,56	0,77	0,68	
30	0,43	0,24	0,60	0,30	0,68	0,41	
	0,43	0,31	0,65	0,46	0,75	0,58	

Так як контурний ЗП закладається на відстані не менше 1 м до будівлі, то довжина по периметру закладання дорівнює:

$$L_n = (A + 2) \cdot 2 + (B + 2) \cdot 2 = (48 + 2) \cdot 2 + (22 + 2) \cdot 2 = 100 + 48 = 148 \text{ м.}$$

де A – довжина приміщення;

B – ширина приміщення;

L_n – довжина по периметру закладання;

$A \times B = 48 \times 22 \text{ м}^2$ – параметри будівлі.

Визначаємо відстань між вертикальними електродами

$$a = \frac{L_n}{N'_{B.P}} = \frac{148}{6} = 24,7 \text{ м.}$$

$$\frac{a}{L_B} = \frac{24,7}{6} = 4,12.$$

Приймаємо як розрахункове значення $\frac{a}{L_B} = 3$.

Таким чином

$$\eta = f(\text{контурний, вертикальний, 3, 6}) = 0,8.$$

$$N_{B.P} = \frac{N'_{B.P}}{\eta_B} = \frac{6}{0,8} = 7,5 \text{ шт.}$$

Приймаємо $N_{B.P} = 8$ шт.

Далі відстань між електродами уточнюється з урахуванням форми об'єкта. По кутах установлюють по одному вертикальному електроду, а ті що залишилися – між ними. Розміщуємо елементи ЗП на плані та уточнюємо відстані.

Для рівномірного розподілу електродів остаточно приймаємо, $N_B = 8$ (рис. 10.1).

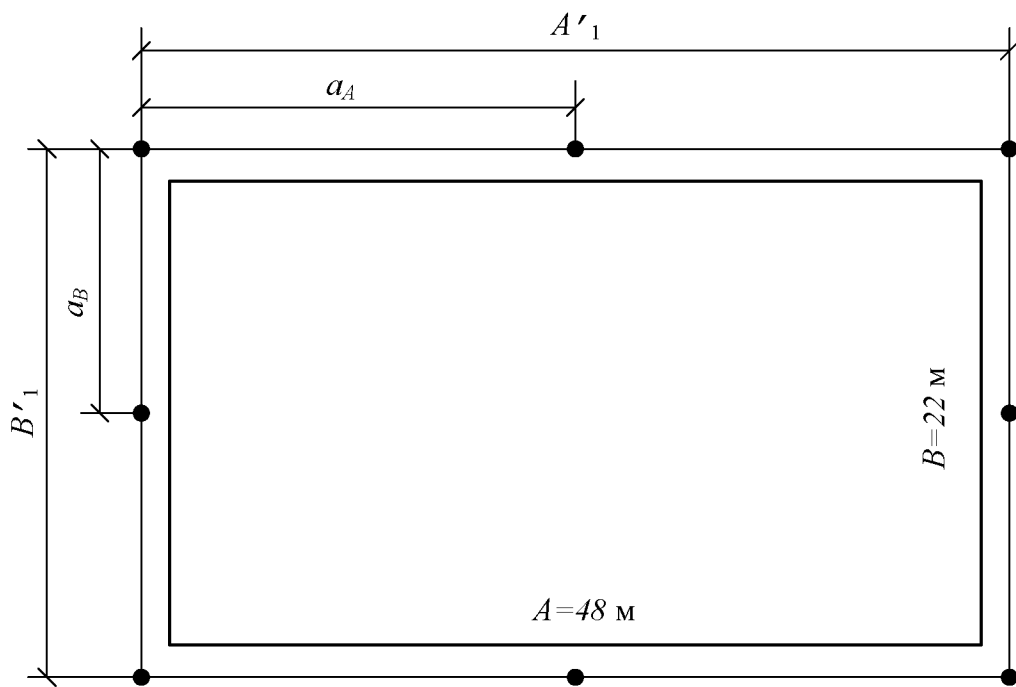


Рисунок 10.1 – План заземлювального контуру цеху

$$a_A = \frac{A'}{n_A - 1}; \quad (10.5)$$

$$a_B = \frac{B'}{n_B - 1}; \quad (10.6)$$

					MP 5.8.141.291 ПЗ	Арк.
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		110

де a_B – відстань між електродами по ширині об'єкта, м;
 a_A – відстань між електродами по довжині об'єкта, м;
 n_B – кількість електродів по ширині об'єкта;
 n_A – кількість електродів по довжині об'єкта.

$$a_A = \frac{A'}{n_A - 1} = \frac{50}{2} = 25 \text{ м,}$$

$$a_B = \frac{B'}{n_B - 1} = \frac{24}{2} = 12 \text{ м.}$$

Для уточнення приймається середнє значення відношення

$$\left(\frac{a}{L_B} \right)_{cp} = \frac{1}{2} \left(\frac{a_A + a_B}{L_B} \right) \quad (10.7)$$

де L_B – довжина вертикального заземлювача, м;
 a – відстань між вертикальними заземлювачами, м.

$$\left(\frac{a}{L_B} \right)_{cp} = \frac{1}{2} \left(\frac{a_A + a_B}{L_B} \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{25 + 12}{5} \right) = 3,7.$$

За табл. 10.3 уточнюються коефіцієнти використання за допомогою апроксимації.

$$\eta_B = f(\text{контурний; вертикальний; } 3; 8) = 0,78$$

$$\eta_T = f(\text{контурний; горизонтальний; } 3; 8) = 0,60$$

Визначаються уточнені значення опорів вертикальних і горизонтальних електродів.

					MP 5.8.14.1.291 ПЗ	Арк.
						111
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_{\Gamma} = \frac{0,4}{L_{\Pi}\eta_{\Gamma}} \rho K_{\text{СЕЗ.Г}} \lg \frac{2L_{\Pi}^2}{bt} \quad (10.8)$$

де R_{Γ} – уточнене значення опору горизонтальних електродів,

$t = 0,7$ – глибина закладання, (м)

b – ширина смуги, (м)

L_{Π} – довжина смуги, (м)

$$R_{\Gamma} = \frac{0,4}{L_{\Pi}\eta_{\Gamma}} \rho K_{\text{СЕЗ.Г}} \lg \frac{2L_{\Pi}^2}{bt} = \frac{0,4}{148 \cdot 0,6} \cdot 50 \cdot 2,3 \cdot \lg \frac{2 \cdot (148)^2}{40 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7} = 3,21 \text{ Ом.}$$

$$R_B = \frac{r_B}{N_B \eta_B} \quad (10.9)$$

де R_B – уточнене значення опору вертикальних електродів

$$R_B = \frac{r_B}{N_B \eta_B} = \frac{16,51}{8 \cdot 0,78} = 2,65 \text{ Ом.}$$

Визначаємо $R_{3V,\Phi}$ фактичний опір ЗП

$$R_{3V,\Phi} = \frac{R_B R_{\Gamma}}{R_B + R_{\Gamma}} = \frac{2,65 \cdot 3,21}{2,65 + 3,21} = 1,45 \text{ Ом;}$$

$$(1,45)R_{3V,\Phi} < R_{3V}(4)$$

Отже, було розраховано параметри ЗП об'єкта, що складається з 8 вертикальних заземлювачів, довжиною 5 м, відстань між якими по довжині об'єкта – 25 м і 12 м – по ширині об'єкта. Довжина по периметру закладання 148 м. Опір заземлюючого пристрою становить 1,45 Ом. Вертикальний електрод – *кругла сталь* $\varnothing 15$, горизонтальний електрод – смуга з розмірами 40×4 мм.

					<i>MP 5.8.14.1.291 ПЗ</i>	Арк.
						112
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

11. ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ВАРІАНТІВ ОСВІТЛЕННЯ ЦЕХУ

Провести порівняльний аналіз двох варіантів системи освітлення цеху:

1. Для освітлення цеху використовуються світильники фірми «ВАТРА» типу ГСП04В-250-588 із з металогалогенною лампою типу HPI-Plus потужністю 250 Вт;
2. Для освітлення цеху використовуються світильники світлодіодні Philips RCA BY235P LED200 потужністю 200 Вт.

Для проведення порівняльного аналізу при використанні двох різних типів світильників необхідно знайти повні витрати на впровадження даних заходів та здійснити їх порівняння.

У табл. 11.1 наведені технічні характеристики цих освітлювальних приладів.

Таблиця 11.1 – Технічна характеристика світильників

Найменування	Тип світильника	
	ГСП04В-250-588	Philips RCA BY235P LED200
Тип лампи	HPI-Plus	–
Потужність (P_l), Вт	250	200
Світловий потік лампи (Φ_l), лм	18000	20000
Кількість ламп у світильнику (n), шт.	1	–
Термін служби, годин	20000	30000

					MP 5.8.14.1.291 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Петровський М.В.			Проектування системи електропостачання виробничого цеху ТОВ «Фавор». Пояснювальна записка	Літ.	Арк	Архівів
Керівник		Лебедка С.М.					113	126
Консульт.		Маценко О.М.				СумДУ, ЕТ.мз-01с		
Н. Контр.		Никифоров М.А.						
Зав.каф		Лебединський І.Л.						

Необхідна кількість світильників з металогалогенними та світлодіодними лампами була розрахована у розділі 2. Вона складає для світильників з металогалогенними лампами – 45 шт., для світильників із світлодіодними лампами – 28 шт.

Вартість світильників, які встановлюються в цеху (I_{cv}), визначається по формулі [20]:

$$I_{cv} = (I_c + I_l \cdot n) \cdot N \quad (11.1)$$

де I_c – ціна одного світильника, грн.;

I_l – ціна однієї лампи, грн.;

N – кількість світильників, шт.;

n – кількість ламп у світильнику.

Використовуючи дані Internet та прайс-листи знаходимо ціну необхідних нам світильників та ламп для них:

1. ціна світильника ГСП04В-250-588 – 2050 грн.;
2. ціна світильника Philips RCA BY235P LED200 – 6010 грн.;
3. ціна лампи HPI-Plus – 517 грн.

Розрахуємо вартість всіх світильників ВАТРА ГСП04В-250-588:

$$I_{cv_{ГСП}} = (2050 + 517 \cdot 1) \cdot 45 = 115515 \text{ грн.}$$

Розрахуємо вартість всіх світильників Philips RCA BY235P LED200:

$$I_{cv_{LED}} = 6010 \cdot 28 = 168280 \text{ грн.}$$

Вартість монтажу світильників визначається по формулі:

$$I_m = I_{m,cv} \cdot N, \quad (11.2)$$

					MP 5.8.14.1.291 ПЗ	Арк.
						114
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

де $U_{m.cв}$ – ціна монтажу одного світильника, грн. Ціна монтажу як світильника ГСП04В-250-588, так і світильника Philips RCA BY235P LED200 становить 200 грн.

Розрахуємо вартість монтажу світильників ГСП04В-250-588:

$$U_{mГСП} = 200 \cdot 45 = 9000 \text{ грн.}$$

Розрахуємо вартість монтажу світильників Philips RCA BY235P LED200:

$$U_{mLED} = 200 \cdot 28 = 5600 \text{ грн.}$$

Кількість електричної енергії, що споживається за рік (K), визначається по формулі:

$$K = k \cdot P_n \cdot n \cdot N, \quad (11.3)$$

де k – час роботи лампи за рік, годин. Для ламп час роботи становить 2400 годин за рік.

P_n – потужність лампи, кВт.

Споживана електроенергія при використанні світильників ГСП04В-250-588 становить:

$$K_{ГСП} = 2400 \cdot 0,25 \cdot 45 \cdot 1 = 27000 \text{ кВт/рік.}$$

Споживана електроенергія при використанні світильників Philips RCA BY235P LED200:

$$K_{LED} = 2400 \cdot 0,2 \cdot 28 \cdot 1 = 13440 \text{ кВт/рік.}$$

					<i>MP 5.8.14.1.291 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		115

Вартість електричної енергії, що споживається світильниками за рік ($C_{EЛ}$), визначається по формулі:

$$C_{EЛ} = K \cdot C_{ел}, \quad (11.4)$$

де $C_{ел}$ – ціна на електричну енергію. $C_{ел} = 5,25$ грн /кВт.

Для світильників ГСП04В-250-588 вона становить:

$$C_{EЛ_{ГСП}} = 27000 \cdot 5,25 = 141750 \text{ грн.}$$

Вартість споживаної електричної енергії для світильників Philips RCA BY235P LED200:

$$C_{EЛ_{LED}} = 13440 \cdot 5,25 = 70560 \text{ грн.}$$

Витрати по експлуатації світильників визначаються по формулі:

$$C_{експл} = G \cdot C_{л}, \quad (11.5)$$

де G – витрата ламп за період розрахунку, шт.

Враховуючи, що термін служби світлодіодного світильника Philips RCA BY235P LED200 складає 30000 годин, а час роботи світильника за рік – 2400 годин, то розрахунок повних витрат освітлення цеху будемо вести для періоду 12 років ($30000/2400 = 12,5 \approx 12$ років).

З урахуванням терміну служби металогалогенних ламп 20000 год кількість замін ламп у світильниках ГСП складе $30000/20000 = 1,5$ рази. Тоді загальна витрата ламп HPI-Plus складе $1,5 \cdot 45 = 68$ штук за 12 років.

Витрати по експлуатації світильників ГСП04В-250-588 за 12 років:

$$C_{експл_{ГСП}} = 68 \cdot 517 = 35156 \text{ грн.}$$

					MP 5.8.14.1.291 ПЗ	Арк.
						116
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Витрати по експлуатації світильників Philips RCA BY235P LED200 за 12 років:

$$Ц_{експл_{LED}} = 0 \text{ грн.}$$

Визначимо повні витрати по впровадженню кожного з варіантів по формулі:

$$B_n = Ц_{св} + Ц_{м} + s \cdot Ц_{ЕЛ} + Ц_{експ}. \quad (11.6)$$

де s – кількість років, за які проводиться розрахунок.

Визначимо повні витрати по освітленню цеху світильниками типу ГСП04В-250-588 за 12 років:

$$B_{n_{ГСП}} = 115515 + 9000 + 12 \cdot 141750 + 35156 = 1860671 \text{ грн.}$$

Середньорічні витрати складають 155056 грн.

Визначимо повні витрати по освітленню цеху світильниками типу Philips RCA BY235P LED200:

$$B_{n_{LED}} = 168280 + 5600 + 12 \cdot 70560 + 0 = 1020600 \text{ грн.}$$

Середньорічні витрати складають 85050 грн.

Річна економія при експлуатації світильників Philips RCA BY235P LED200, в порівнянні з використанням світильників ГСП04В-250-588, складає:

$$E_{річ} = B_{n_{ГСП}} - B_{n_{LED}} = 155056 - 85050 = 70006 \text{ грн.} \quad (11.7)$$

Результати розрахунків занесемо до таблиці 11.2.

					<i>MP 5.8.14.1.291 ПЗ</i>	Арк.
						117
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 11.2 – Порівняння двох варіантів освітлення

	Світильник ГСП04В-250-588 з лампою НРІ-Plus	Світильник Philips RCA BY235P LED200
Кількість світильників, шт.	45	28
Вартість всіх світильників з лампами, грн.	115515	168280
Вартість монтажу світильників, грн.	9000	5600
Електрична енергія, що споживається за рік, кВт/рік.	27000	13440
Вартість електричної енергії за рік, грн.	141750	70560
Витрати по експлуатації світильників за 12 років, грн.	35156	0
Повні витрати за 12 років, грн.	1860671	1020600
Середньорічні витрати, грн.	155056	85050
Річна економія, грн.	–	70006

Таким чином, ми бачимо, що повні витрати по другому варіанту, тобто освітлення цеху за допомогою світлодіодних світильників Philips RCA BY235P LED200, менші, в порівнянні з першим варіантом. Тому вигідніше використовувати для освітлення даного цеху світлодіодні світильники Philips RCA BY235P LED200.

					<i>MP 5.8.14.1.291 ПЗ</i>	Арк.
						118
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Проект системи електропостачання виробничого цеху ТОВ «Фавор» полягає у розробці надійної системи електропостачання, яка забезпечить безперебійне електропостачання встановлених електроприймачів. Електроприймачі цеху поділяються на дві групи: силові й освітлювальні.

Вихідними даними для проектування електричної розподільної мережі є: план приміщення цеху із зазначенням місць розміщення електроприймачів, їх кількість та потужність.

Розраховане електричне освітлення виробничого цеху №3. Світлотехнічний розрахунок проведений методом коефіцієнта використання та з застосуванням спеціалізованого програмного забезпечення DiaLux Evo. Проведено порівняння двох варіантів виконання освітлення цеха: з металогалогенними лампами та світлодіодними лампами.

В основній частині розраховані навантаження для всіх електроприймачів виробничого цеху. Вибрана схема електричної мережі магістрально-радіального типу. Для живлення цеху встановлено одноструматорну підстанцію з трансформатором типу ТСЛ-250/10 із напругою низької сторони 0,4 кВ.

Для живлення трансформаторної підстанції на напрузі 10 кВ обраний кабель з паперовою ізоляцією та алюмінієвими жилами в свинцевій оболонці типу АСБ.

Живильна мережа цеху виконана чотирижильним кабелем АВВГ, а розподільна мережа проводом АПВ. Для виконання умови по допустимому відхиленню напруги в живильній та розподільній мережі був виконаний розрахунок втрат напруги в кабелях та проводах.

Розраховані струми короткого замикання в найбільш характерних точках електричної мережі цеху. Зроблений вибір комутаційно-захисної апаратури та виконане узгодження вибраного перерізу провідників електричної мережі з вибраними апаратами захисту.

Для захисту ліній передбачено використання вимикачів з комбінованими розчеплювачами серії ВА-2004N та ВА-2017.

					<i>MP 5.8.14.1.291 ПЗ</i>	Арк.
						119
<i>Змн.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Розраховано параметри системи грозозахист цеху що складається з двох стрижневих блискавковідводів.

Розглянуті підходи щодо особливостей вимірювання та розрахунку коефіцієнтів несинусоїдальності напруги.

В розділі охорона праці виконаний аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що діють на обслуговуючий персонал. Проведений розрахунок заземлюючого контуру цеху, що забезпечує його фактичний опір не більше 4 Ом.

В економічній частині проведений порівняльний техніко-економічний аналіз можливих варіантів освітлення виробничого цеху. В результаті розрахунків зроблений висновок про доцільність використання світлодіодних світильників типу Philips RCA BY235P LED200.

При виконанні магістерської роботи було дотримано вимоги ПУЕ та інших нормативних документів щодо надійності та якості електропостачання [21].

					<i>MP 5.8.14.1.291 ПЗ</i>	Арк.
						120
<i>Змн.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. – Х.: Видавництво «Форт», 2017. 760 с.
2. Рудницький В.Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування: Навчальний посібник. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2007. 280 с.
3. Василега П.О. Електропостачання: підручник. – Суми: СумДУ, 2019. 521 с.
4. ДБН В.2.5-23-2010 Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 104 с.
5. ВАТРА. Промислове освітлення, світильники для виробничих приміщень [Електронний ресурс]. URL: <https://vatra.in.ua/catalog/promyslove-osvitlennia/>.
6. ДБН В.2.5-28-2018 Природне і штучне освітлення. – Київ: Мінрегіон України, 2018. 133 с.
7. Козловская, В.Б., Радкевич, В.Н., Сацукевич В.Н. Электрическое освещение. 2-е изд., справочник. – Минск: Техноперспектива, 2008. 271 с.
8. Каталог ламп Philips [Электронный ресурс]. URL: <https://www.assets.signify.com/is/content/Signify/Assets/philips-lighting/russia/20200923-nonled-lamps-catalogue-ru.pdf>.
9. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование систем электоснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2005. 214 с.
10. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования / под ред. Барыбина Ю.Г. – М.: Энергоатомиздат, 2007. 464 с.
11. Коновалова Л.Л., Рожкова Л.Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: Учебное пособие для техникумов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. 528 с.
12. Маліновський, А.А., Хохулін Б.К. Основи електропостачання. Навч. посіб. – Львів: Вид-во Національного ун-ту «Львівська політехніка», 2005. 324 с.
13. ГОСТ 28249-89. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в

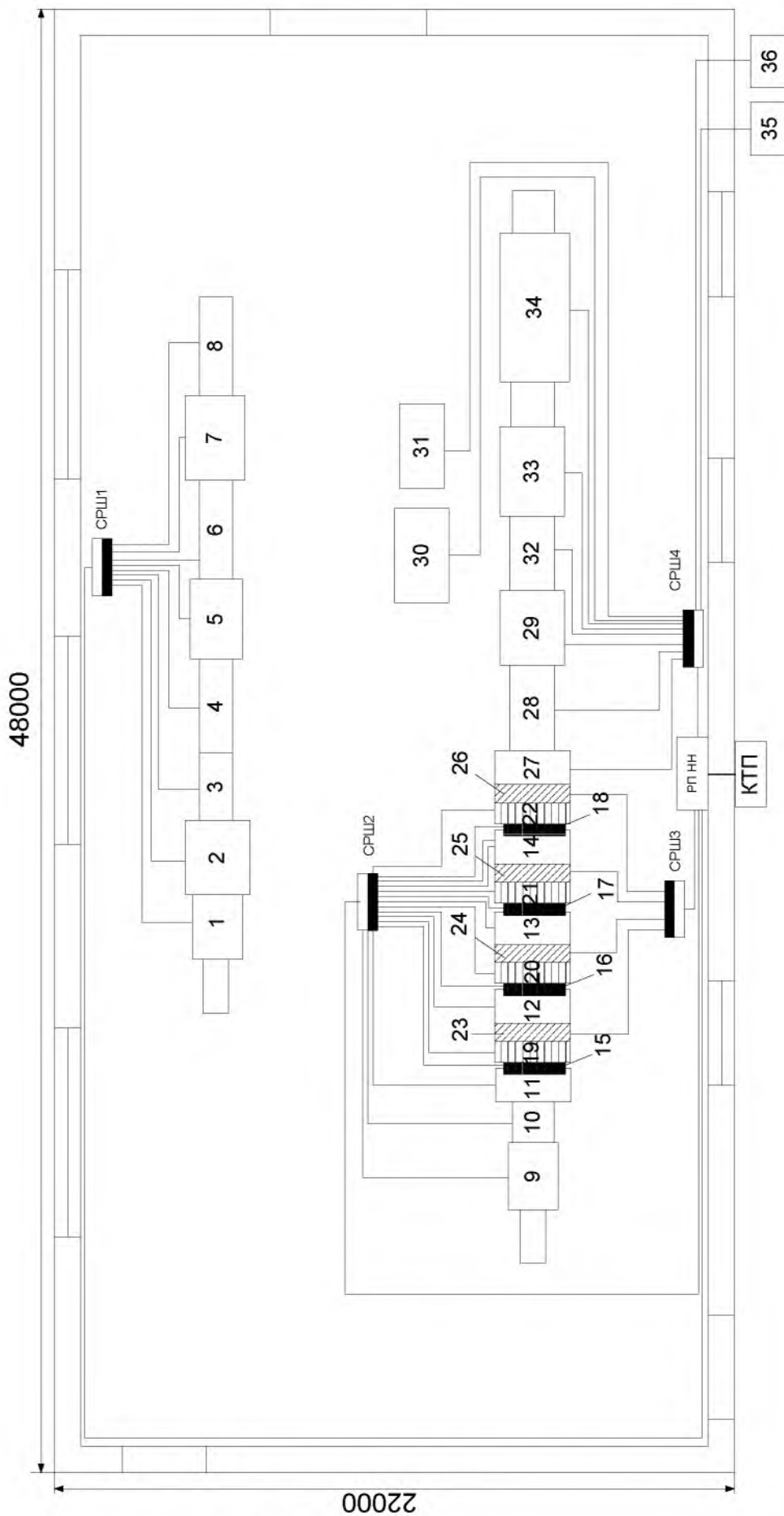
					<i>MP 5.8.141.291 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		121

електроустановках переменного тока напряжением до 1кВ.

14. ДСТУ Б В.2.5-38:2008 Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд. Київ: Міністерство регіонального розвитку та будівництва, 2008. 48 с.
15. ГОСТ 13109-97 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Минск: ИПК Изд-во стандартов, 1998. 30 с.
16. ДСТУ ІЕС 61000-4-30:2010 Електромагнітна сумісність. Частина 4-30. Методи випробування та вимірювання. Вимірювання показників якості електричної енергії (ІЕС 61000-4-30:2008, ІДТ). [Чинний з 01.07.2012]. Київ: Держстандарт України, 2010. 125 с.
17. ДСТУ EN 50160:2014 (EN 50160:2010, ІДТ) Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності. Київ: Держстандарт України, 2014. 27 с.
18. ІЕС EN 61000-4-7:2002 Electromagnetic compatibility (EMC) Part 4-7: Testing and measurement techniques. 2002. 44 с.
19. Елизаров Д.А. Повышение точности оценки показателей несинусоидальности напряжения в электроэнергетических системах: диссертация кандидата технических наук: 05.14.02 / Елизаров Д. А.;[Место защиты: Омский государственный университет путей сообщения]. Омск, 2014. 154 с.
20. Мельник Л.Г. Економіка підприємства. Суми: Університетська книга, 2003. 412 с.
21. Никифоров, М.А., Лебединський І.Л. Методичні вказівки до оформлення дипломних робіт. Суми: Вид-во СумДУ, 2008. 74 с.

					<i>MP 5.8.14.1.291 ПЗ</i>	Арк.
						122
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

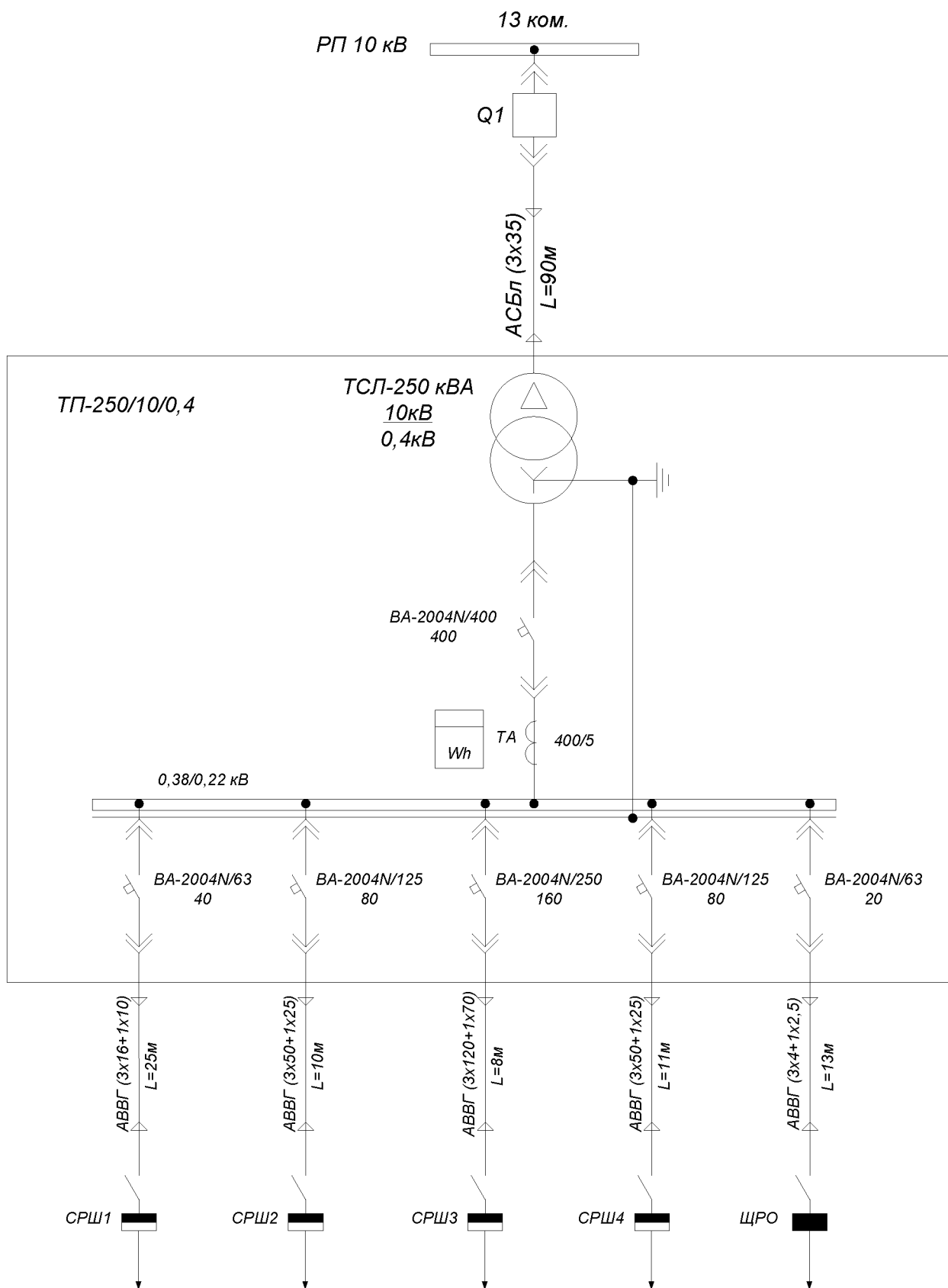
ДОДАТОК А. ПЛАН РОЗМІЩЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ ЦЕХУ



Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата

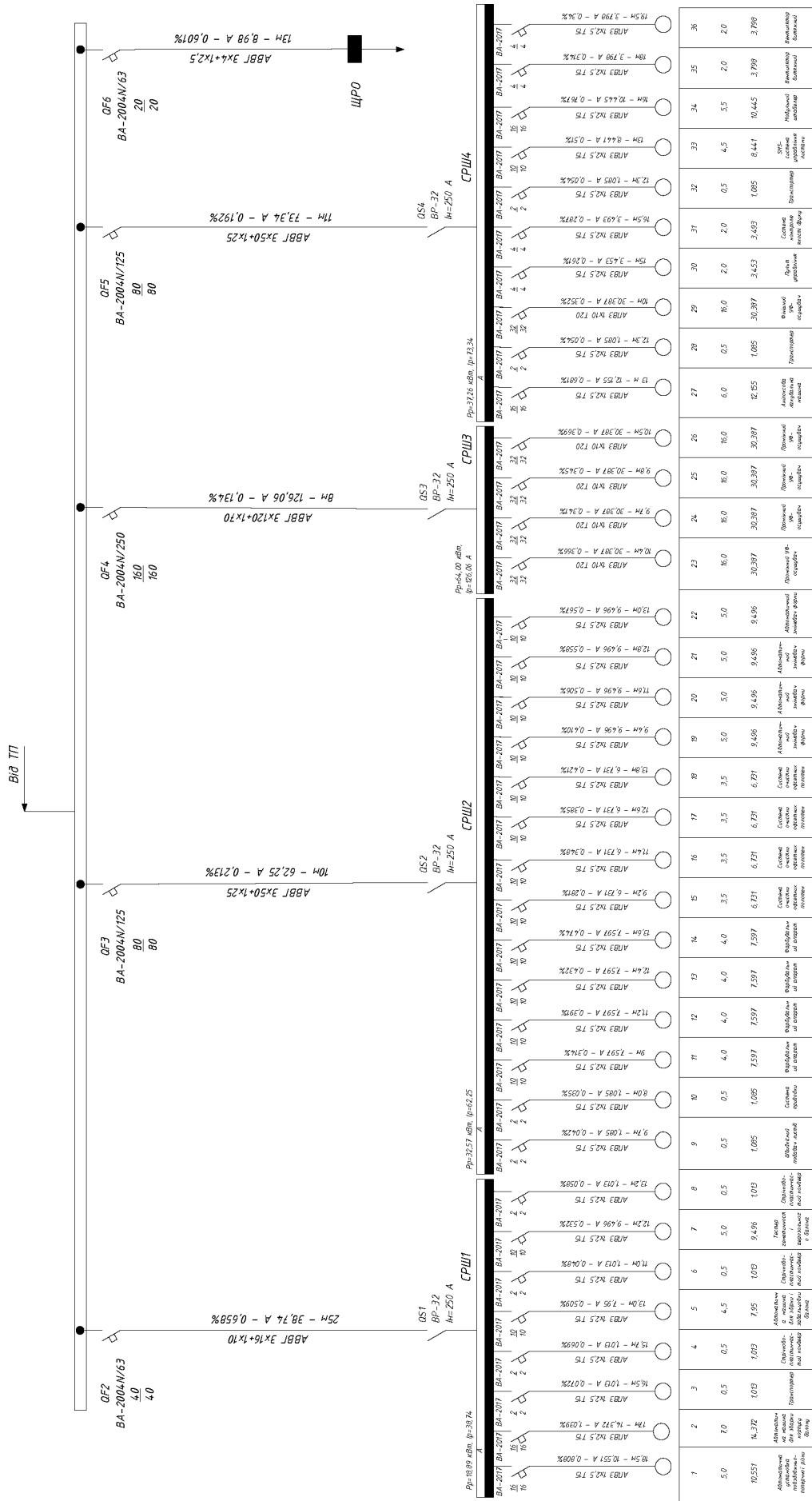
МР 5.8.141.291 ПЗ

ДОДАТОК Б. ОДНОЛІНІЙНА СХЕМА ЖИВЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ЦЕХУ



					MP 5.8.141.291 ПЗ	Арк.
Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		124

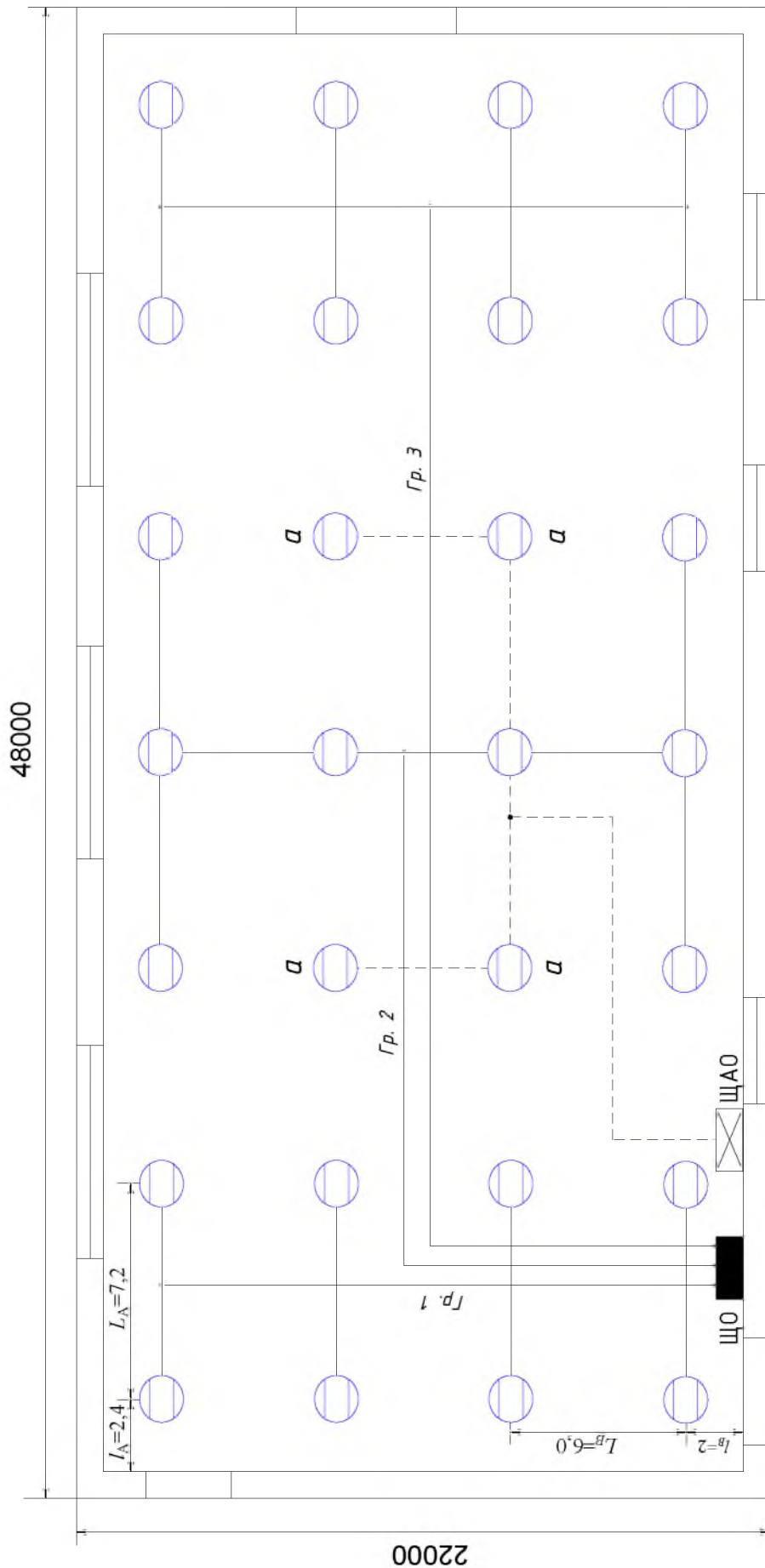
ДОДАТОК В. ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА СХЕМА СИЛОВОЇ МЕРЕЖІ



Змн.	Аркуш	№ док.ум.	Підпис	Дата
------	-------	-----------	--------	------

MP 5.8.141.291 ПЗ

ДОДАТОК Г. СХЕМА ОСВІТЛЮВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ ЦЕХУ



Змн.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата

MP 5.8.141.291 ПЗ

Арк.

126