

**Інститут (факультет ) ННІТІ ім.акад.І.С.Гулого**  
**Кафедра Електропостачання і електроменеджменту**

**«До захисту в ЕК»**

Директор інституту(декан  
факультету)

\_\_\_\_\_ Сергій БЛАЖЕНКО  
(підпис) (прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022р.

**«До захисту допущено»**

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Сергій БАЛЮТА  
(підпис) (прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_  
2022р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

зі спеціальності 141«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми «Енергетичний менеджмент та технології  
енергозбереження»

на тему: «Розробка системи електропостачання деревопереробного цеху в с.  
Ключарки Мукачівського району та методи забезпечення підвищення надійності  
електропостачання»

Виконав: здобувач 4 курсу, групи ЕЛ 4-11ск

\_\_\_\_\_ Йовбак Василь Васильович \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник Балюта Сергій Миколайович  
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультанти Аліна СІРИК  
(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент Михайло КРАСЮК  
(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Я, як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) незарядженої допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Здобувач \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2022 р.



6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
ОП	доц. Сірик А.О.		

7. Дата видачі завдання 31 березня 2022 року

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

Пор №	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання на дипломний проект	31.03.2022 р	
2	Вступ	03.04.2022 р	
3	Вихідні дані	08.04.2022 р	
4	Розрахунок електричних навантажень цеху	13.04.2022р	
5	Розробка трансформаторної підстанції	20.04.2022 р	
6	Вибір схеми електропостачання цеху й розрахунок мережі низької напруги	25.04.2022 р	
7	Розрахунок заземлюючого пристрою	30.04.2022 р	
8	Розрахунок пристроїв блискавкозахисту	02.05.2022 р	
9	Спецпитання «Методи щодо підвищення надійності електропостачання споживачів деревопереробного цеху»	08.05.2022 р	
10	Охорона праці	15.05.2022 р	
11	Список літератури	20.05.2022 р	
12	Оформлення графічної частини проекту	24.05.2022 р	
13	Оформлення пояснювальної записки проекту	28.05.2022 р	
14	Здача дипломного проекту на перевірку	30.05.2022 р	

Здобувач \_\_\_\_\_  
(підпис)

Йовбак В.В. \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Балюта С.М. \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

## Анотація

Йовбак Василь Васильович. Дипломний проект на тему:  
«Розробка системи електропостачання деревопереробного цеху в с. Ключарки  
Мукачівського району та методи забезпечення підвищення надійності  
електропостачання»

Національний Університет Харчових Технологій, Київ -2022

141. «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Додана пояснювальна записка складається із вступу, 8 розділів та списку використаної літератури. Обсяг проекту становить 89 сторінок.

До опису надано графічну частину, яка складається із п'яти креслень: план розташування будівель і споруд деревопереробного цеху, принципова схема живлячої і розподільчої мережі цеху, схема головних електричних з'єднань 2хКТПН-2500-10/0,4, план розташування пристроїв заземлення, план розташування пристроїв блискавкозахисту.

Розрахунки й аналіз виконані за допомогою методик, що викладені у навчальній, довідниковій, нормативній і науково-технічній літературі.

У результаті виконання проекту визначено розрахункове електричне навантаження цеху, розроблено схему його електропостачання, вибрано необхідне силове устаткування й трансформатори, виконаний розрахунок пристроїв блискавкозахисту й заземлення, як методи по підвищенню надійності електропостачання запропоновано використання дизельного генератора в якості резервного джерела живлення, а також заміну повітряної лінії електропередач 10 кВ із використанням захищених проводів марки СИП-3 і залізобетонних опор.

У розділі охорона праці розглянуто Заходи щодо забезпечення безпеки при обслуговуванні комплектної трансформаторної підстанції.

**Ключові слова:** деревопереробний цех, електричне навантаження цеху, трансформаторна підстанція, підвищення надійності електропостачання, дизельний генератор, повітряна лінія електропередач.

## Abstract

YOVBAK VASIL. Diploma project on the topic: "Development of the power supply system of the wood processing plant in the village. Locksmiths of Mukachevo district and methods to increase the reliability of electricity supply "

National University of Food Technologies, Kyiv -2022 141. "Electric power, electrical engineering and electromechanics"

The attached explanatory note consists of an introduction, 8 chapters and a list of references. The volume of the project is 89 pages.

The description includes a graphic part consisting of five drawings: layout of buildings and structures of the woodworking shop, the schematic diagram of the supply and distribution network of the shop, the scheme of the main electrical connections 2xKTPN-2500-10/0.4, layout of grounding devices, lightning protection device location plan.

Calculations and analysis are performed using the methods described in the educational, reference, normative and scientific and technical literature. As a result of the project, the estimated electrical load of the shop was determined, the scheme of its power supply was developed, the necessary power equipment and transformers were selected, lightning protection and earthing devices were calculated, the use of a diesel generator as a backup power supply 10 kV power transmission using SIP-3 protected wires and reinforced concrete supports. In the section on labor protection, measures to ensure safety in the maintenance of a complete transformer substation are considered.

**Key words:** wood processing shop, electric loading of the shop, transformer substation, increase of reliability of power supply, diesel generator, overhead power line.



5.	Розрахунок заземлюючого пристрою.....	59
5.1.	Вибір режиму роботи нейтралі.....	59
5.2.	Розрахунок заземлюючого пристрою.....	59
6.	Розрахунок пристроїв блискавкозахисту.....	63
7.	Спецпитання «Методи щодо підвищення надійності електропостачання споживачів деревопереробного цеху».....	64
7.1.	Вибір резервного джерела живлення.....	65
7.2.	Заміна повітряної лінії електропередачі 10 кВ із використанням захищених проводів і залізобетонних опор.....	68
8.	Охорона праці.....	77
	Список літератури.....	87

## ВСТУП

Електроенергетика є базовою галуззю української економіки, що забезпечує електричною й тепловою енергією внутрішні потреби народного господарства й населення, а також здійснюючи експорт електроенергії в західні країни. Стійкий розвиток і надійне функціонування галузі багато в чому визначають енергетичну безпеку країни і є важливими факторами її успішного економічного розвитку.

У сучасному світі якісне й постійне електропостачання житлових, громадських, промислових і допоміжних об'єктів – є одним з найбільш важливих факторів створення оптимальних умов для суспільної й виробничої діяльності людини. Електропостачання, як провідна галузь енергетичного комплексу, містить у собі ряд великих і трудомістких етапів виробництва з наступною передачею й збутом електроенергії споживачеві. Кожний із цих етапів перетерпів істотну технологічну модернізацію в порівнянні з початковим періодом розвитку систем електропостачання.

Розвиток енергетики в Україні, модернізація будівельних технологій промислового сектора, посилення сформованих зв'язків між енергосистемами країнами співдружності в рамках цього комплексу в цей час вимагає збільшення масштабів будівництва електроенергетичних об'єктів. На сьогоднішній день можна з усією очевидністю констатувати ряд позитивних, прогресивних змін в області електропостачання міст на території України й модернізацію технологічного устаткування й комунікацій енергосистем; побудовані й введені в експлуатацію лінії й підстанції високої напруги.

Стратегія розвитку лісового комплексу України до 2030 року визначає пріоритетні напрямки розвитку лісового комплексу в частині заготівлі й переробки деревної сировини й шляхи їхньої реалізації, є основою для прийняття рішень по підтримці на державному рівні пріоритетних інвестиційних проектів в області освоєння лісів і розвитку лісопереробки в регіонах України.

					ДП 2022 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Йовбак В.В.			<b>Вступ</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Балюта С.М.					7	
Реценз.						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-11ск		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.						



## 1. ВИХІДНІ ДАНІ

Електроприймачі деревообробного цеху по ступеню надійності електропостачання в основному відносяться до споживачів II категорії, за винятком пункту пожежно-охоронної сигналізації, котельної, аварійного, евакуаційного, чергового освітлення й пожежних насосів, які відносяться до споживачів I категорії особливої групи [1].

Резервне електропостачання електроприймачів I категорії на підприємстві здійснюється від дизель-генератора.

Даний проект передбачає електропостачання цеху від комплектної трансформаторної підстанції (КТП) 10/0,4 кВ.

Для компенсації реактивної потужності й збільшення коефіцієнта потужності в КТП передбачається встановлення конденсаторних установок.

Все технологічне устаткування деревообробного цеху поставляється комплектно із силовими щитами й пультами керування. Силові й контрольні кабелі, призначені для розведення по технологічному устаткуванню, входять в об'єм поставки.

*Таблиця 1.1*

### *Перелік технологічного устаткування*

Позначення на плані	Найменування обслуговуючого приміщення (технологічного устаткування)	Встановлена активна потужність електроприймача, Руст, кВт	Коефіцієнт попиту, $K_p$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$
1	2	3	4	5	6
3	1. Лінія сортування колод	262	0,5	0,8	0,75
19	2. Окісний верстат	200	0,7	0,8	0,75

					ДП 2022 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Йовбак В.В.			<b>Вихідні дані</b>	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Балюта С.М.					9	
Реценз.						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-11ск		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.						



План розташування приміщень деревопереробного цеху представлений на графічному кресленні.

### *Електричне освітлення*

В деревопереробному цеху передбачаються наступні види освітлення:

- робоче;
- аварійне й евакуаційне;
- зовнішнє, включаючи чергове по території заводу.

У даному проекті виконується тільки зовнішнє освітлення. Відповідно до проектного завдання для зовнішнього освітлення використовуються світильники з натрієвими лампами, установлені на опорах і кронштейнах по фасадах будинків і споруд. Управління світильниками зовнішнього й чергового освітлення промплощадки – централізоване із пропускного пункту об'єкту. Зовнішні електроосвітлювальні мережі виконуються кабелями розрахункового перерізу, що прокладаються в земляних траншеях і по будівельних конструкціях.

Робоче й аварійне освітлення в даному проекті вважають виконаними. Електричні навантаження робочого й аварійного освітлення наведені в табл. 1.2.

*Таблиця 1.2*

### *Електричне освітлення деревообробного цеху*

Позначення на плані	Найменування обслуговуючого приміщення (технологічного устаткування)	Встановлена активна потужність електроприймача, Руст, кВт	Коефіцієнт попиту, $K_p$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$
3	1. Електричне освітлення (ЕО) лінії сортування колод	50	1,0	0,8	0,75
4	2. ЕО лісопильного цеху	20	1,0	0,8	0,75
5	3. ЕО лінії сирого сортування	50	1,0	0,8	0,75
5	4. ЕО лінії сухого сортування	50	1,0	0,8	0,75
6, 2	5. ЕО складу готової продукції й сушильних камер	23	1,0	0,8	0,75
9	6. ЕО котельні	20	1,0	0,8	0,75
19	7. ЕО окісного верстата	15	1,0	0,8	0,75

					ДП 2022 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

*Повітряна лінія електропередач 10 кВ*

Електропостачання деревообробного цеху передбачене від ЗРП-10 кВ ПС 220/110/35/10 кВ.

Для приєднання КТПН заводу споруджуються дві одноланцюгові лінії ПЛ-10 кВ на залізобетонних опорах, передбачається провід марки СИП-3 (замість лінії ПЛ-10 кВ на дерев'яних опорах із проводом марки АС-95/16).

ПЛ-10 кВ споруджується з урахуванням резервування споживачів I категорії й збільшенням потужності підприємства на II етапі будівництва.

Загальна довжина 2-х ліній становить 340 м. Від кінцевих опор ПЛ-10 кВ до ЗРП-10 кВ ПС і КТП деревообробного цеху передбачена прокладка кабелів.

					ДП 2022 141	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЦЕХУ

Першим етапом проектування системи електропостачання є визначення електричних навантажень. Необхідність визначення розрахункових електричних навантажень промислових підприємств викликана неповним завантаженням деяких ЕП, неодноразовістю їхньої роботи, ймовірнісним випадковим характером включення й відключення ЕП, що залежить від особливостей технологічного процесу й організаційно-технічних заходів щодо забезпечення належних умов праці робітників та службовців даного виробництва. Правильне визначення розрахункових електричних навантажень і забезпечення необхідного ступеню безперебійності їхнього живлення мають велике народногосподарське значення. Від цього розрахунку залежать вихідні дані для вибору всіх елементів СЕС промислового підприємства й грошові витрати при установці, монтажі й експлуатації вибраного електроустаткування. Завищення розрахункових навантажень призводить до подорожчання будівництва, перевитраті провідникового матеріалу мереж і невиправданому збільшенню потужності трансформаторів і іншого електрообладнання. Зниження може призвести до зменшення пропускної здатності електричної мережі, до зайвих втрат потужності, перегріву проводів, кабелів і трансформаторів, а отже, до скорочення строку їхньої служби.

Розрахунок електричних навантажень електроприймачів (ЕП) напругою до 1 кВ проводиться для кожного вузла живлення (розподільчого пункту, шафи, збірки, розподільчого шинопроводу, щита станцій керування, магістрального шинопроводу, заводської трансформаторної підстанції), а також по цеху, корпусу в цілому.

Основними електроспоживачами деревопереробного цеху є технологічне устаткування, освітлювальне устаткування, устаткування котельні.

					ДП 2022 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Йовбак В.В.			<b>Розрахунок електричних навантажень цеху</b>	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Балюта С.М.					13	
Реценз.						ННІП ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-11ск		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.						



## 2.1. Визначення розрахункової потужності технологічного устаткування

Визначення електричних навантажень технологічного устаткування цеху буде здійснено методом коефіцієнта попиту.

Відповідно до даного методу розрахункове навантаження групи електроприймачів визначають із виразів

$$P_p = P_{ycm} \cdot K_n; \quad (2.1)$$

$$Q_p = P_p \cdot tg\varphi, \quad (2.2)$$

де  $P_p$  – розрахункова активна потужність групи електроспоживачів, кВт;

$P_{ycm}$  – номінальна активна потужність електроспоживачів, кВт (табл. 1.1 і 1.2);

$Q_p$  – розрахункова реактивна потужність групи електроспоживачів, кВАр;

$K_c$  – коефіцієнт попиту даної характерної групи електроспоживачів (див. табл. 1.1 і 1.2);

$tg\varphi$  – коефіцієнт реактивної потужності (див. табл. 1.1 і 1.2).

Розрахункове навантаження вузла системи електропостачання визначають підсумовуванням розрахункових навантажень груп електроприймачів, що входять у даний вузол, з урахуванням коефіцієнту різночасності максимумів навантаження, тобто по виразу:

$$S_p = \sqrt{(\sum P_p)^2 + (\sum Q_p)^2} \cdot K_{p.m.}, \quad (2.3)$$

де  $S_p$  – розрахункова повна потужність електроспоживачів у вузлі, кВА;

$\sum P_p$  – розрахункова активна потужність електроспоживачів у вузлі, кВт;

$\sum Q_p$  – розрахункова реактивна потужність електроспоживачів у вузлі, кВАр;

$K_{p.m.}$  – коефіцієнт різночасності максимумів навантаження окремих груп приймачів, прийнятий у розрахунках  $K_{p.m.} = 1$ .

### 2.1.1. Розрахунок навантаження вузла ВРУ1

Розрахункова активна потужність електроспоживачів, що входять у вузол, визначається по формулі (2.1):

- розрахункова активна потужність лінії сортування колод (ЛСБ)

									ДП 2022 141	Арк.
										15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

$$P_{p.ЛСБ} = 262 \cdot 0,5 = 131 \text{ кВт},$$

- розрахункова активна потужність КПП2

$$P_{p.КПП2} = 8 \cdot 0,9 = 7,2 \text{ кВт},$$

- розрахункова активна потужність ЩО ЛСБ

$$P_{p.ЩОЛСБ} = 50 \cdot 1,0 = 50 \text{ кВт}.$$

Розрахункова активна потужність електроспоживачів у вузлі

$$\sum P_{p.ВРУ1} = P_{p.ЛСБ} + P_{p.КПП2} + P_{p.ЩОЛСБ}, \quad (2.4)$$

$$\sum P_{p.ВРУ1} = 131 + 7,2 + 50 = 188,2 \text{ кВт}.$$

Розрахункова реактивна потужність електроспоживачів, що входять у вузол, визначається по формулі (2.2):

- розрахункова реактивна потужність ЛСБ

$$Q_{p.ЛСБ} = 131 \cdot 0,75 = 98,25 \text{ кВАр},$$

- розрахункова реактивна потужність КПП2

$$Q_{p.КПП2} = 7,2 \cdot 0,33 = 2,376 \text{ кВАр},$$

- розрахункова реактивна потужність ЩО ЛСБ

$$Q_{p.ЩОЛСБ} = 50 \cdot 0,75 = 37,5 \text{ кВАр}.$$

Розрахункова реактивна потужність електроспоживачів у вузлі

$$\sum Q_{p.ВРУ1} = Q_{p.ЛСБ} + Q_{p.КПП2} + Q_{p.ЩОЛСБ}, \quad (2.5)$$

$$\sum Q_{p.ВРУ1} = 98,25 + 2,376 + 37,5 = 138 \text{ кВАр}.$$

Розрахункова повна потужність електроприймачів у вузлі визначається по формулі (2.3)

$$S_{p.ВРУ1} = \sqrt{188,2^2 + 138^2} = 233,5 \text{ кВА}.$$

Розрахунковий струм електроспоживачів вузла ВРУ1 визначається по формулі

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (2.6)$$

де  $U_n$  – номінальна напруга мережі,  $U_n = 0,38 \text{ кВ}$ ;

$$I_{p.ВРУ1} = \frac{233,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 354,7 \text{ А}.$$

										ДП 2022 141	Арк.
											16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

### 2.1.2. Розрахунок навантаження вузла ВРУ2

Розрахункова активна потужність електроспоживачів, що входять у вузол, визначається по формулі (2.1):

- розрахункова активна потужність окісного верстата (ОС)

$$P_{p.OC} = 200 \cdot 0,7 = 140 \text{ кВт},$$

- розрахункова активна потужність ЩО ОС

$$P_{p.ЩОС} = 15 \cdot 0,1 = 15 \text{ кВт},$$

Розрахункова активна потужність електроспоживачів у вузлі

$$\sum P_{p.BPV2} = P_{p.OC} + P_{p.ЩОС}, \quad (2.7)$$

$$\sum P_{p.BPV2} = 140 + 15 = 155 \text{ кВт}.$$

Розрахункова реактивна потужність електроспоживачів, що входять у вузол, визначається по формулі (2.2):

- розрахункова реактивна потужність окісного верстата (ОС)

$$Q_{p.OC} = 140 \cdot 0,75 = 105 \text{ кВАр},$$

- розрахункова реактивна потужність ЩО ОС

$$Q_{p.ЩОС} = 15 \cdot 0,75 = 11,25 \text{ кВАр}.$$

Розрахункова реактивна потужність електроспоживачів у вузлі

$$\sum Q_{p.BPV2} = Q_{p.OC} + Q_{p.ЩОС}, \quad (2.8)$$

$$\sum Q_{p.BPV2} = 105 + 11,25 = 116,25 \text{ кВАр}.$$

Розрахункова повна потужність електроспоживачів у вузлі визначається по формулі (2.3):

$$S_{p.BPV2} = \sqrt{155^2 + 116,25^2} = 193,75 \text{ кВА}.$$

Розрахунковий струм електроспоживачів вузла ВРУ2, А, визначається по формулі (2.6)

$$I_{p.BPV2} = \frac{193,75}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 294,37$$

### 2.1.3. Розрахунок навантаження вузла РЩЗ

Розрахункова активна потужність електроспоживачів, що входять у вузол, визначається по формулі (2.1):

										Арк.
										17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

- розрахункова активна потужність технологічного устаткування лісопильного цеху (ТЕ1)

$$P_{p.ТО1} = 254 \cdot 0,7 = 177,8 \text{ кВт},$$

- розрахункова активна потужність технологічного устаткування лісопильного цеху (ТЕ2)

$$P_{p.ТО2} = 270 \cdot 0,7 = 189 \text{ кВт},$$

- розрахункова активна потужність технологічного устаткування лісопильного цеху (ТЕ3)

$$P_{p.ТО3} = 276 \cdot 0,7 = 193,2 \text{ кВт},$$

- розрахункова активна потужність ЩО лісопильного цеху (ЩО ЛЦ)

$$P_{p.ЩОЛЦ} = 20 \cdot 1,0 = 20 \text{ кВт}.$$

Розрахункова активна потужність електроспоживачів у вузлі

$$\sum P_{p.РЦЗ} = P_{p.ТО1} + P_{p.ТО2} + P_{p.ТО3} + P_{p.ЩОЛЦ}, \quad (2.9)$$

$$\sum P_{p.РЦЗ} = 177,8 + 189 + 193,2 + 20 = 580 \text{ кВт}.$$

Розрахункова реактивна потужність електроспоживачів, що входять у вузол, визначається по формулі (2.2):

- розрахункова реактивна потужність технологічного устаткування лісопильного цеху (ТЕ1)

$$Q_{p.ТО1} = 177,8 \cdot 0,75 = 133,35 \text{ кВАр},$$

- розрахункова реактивна потужність технологічного устаткування лісопильного цеху (ТЕ2)

$$Q_{p.ТО2} = 189 \cdot 0,75 = 141,75 \text{ кВАр},$$

- розрахункова реактивна потужність технологічного устаткування лісопильного цеху (ТЕ3)

$$Q_{p.ТО3} = 193,2 \cdot 0,75 = 144,9 \text{ кВАр},$$

- розрахункова реактивна потужність ЩО лісопильного цеху (ЩО ЛЦ)

$$Q_{p.ЩОЛЦ} = 20 \cdot 0,75 = 15 \text{ кВАр}.$$

Розрахункова реактивна потужність електроспоживачів у вузлі

$$\sum Q_{p.РЦЗ} = Q_{p.ТО1} + Q_{p.ТО2} + Q_{p.ТО3} + Q_{p.ЩОЛЦ}, \quad (2.10)$$

					ДП 2022 141	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Розрахунковий струм електроспоживачів вузла ЩУ КС1 визначається по формулі (2.6)

$$I_{p,ЩУКС1} = \frac{280}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 425,4 \text{ А.}$$

Отримані значення  $P_p, Q_p, S_p, I_p$  для вузла ЩУ КС1 будуть однакові для вузлів ЩУ КС2 і ЩУ КС3, тому розрахунок для них не виконується.

### 2.1.5. Розрахунок навантаження вузла ЩУ ФБС

Розрахункова активна потужність електроспоживачів, що входять у вузол, визначається по формулі (2.1):

- розрахункова активна потужність фрезерно-брусуючого верстата (ФБС)

$$P_{p,ФБС} = 280 \cdot 0,7 = 196 \text{ кВт.}$$

Розрахункова активна потужність електроспоживачів у вузлі

$$\sum P_{p,ЩУФБС} = P_{p,ФБС}, \quad (2.13)$$

$$\sum P_{p,ЩУФБС} = 196 \text{ кВт.}$$

Розрахункова реактивна потужність електроспоживачів, що входять у вузол, визначається по формулі (2.2):

- розрахункова реактивна потужність фрезерно-брусуючого верстата (ФБС)

$$Q_{p,ФБС} = 196 \cdot 0,75 = 147 \text{ кВАр.}$$

Розрахункова реактивна потужність електроспоживачів у вузлі

$$\sum Q_{p,ЩУФБС} = Q_{p,ФБС}, \quad (2.14)$$

$$\sum Q_{p,ЩУФБС} = 147 \text{ кВАр.}$$

Розрахункова повна потужність електроспоживачів у вузлі визначається по формулі (2.3)

$$S_{p,ЩУФБС} = \sqrt{196^2 + 147^2} = 245 \text{ кВА.}$$

Розрахунковий струм електроспоживачів вузла ЩУ ФБС визначається по формулі (2.6)

$$I_{p,ЩУФБС} = \frac{245}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 372,2 \text{ А.}$$

									ДП 2022 141	Арк.
										20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

### 2.1.6. Розрахунок навантаження вузла ЩУ ОМ

Розрахункова активна потужність електроспоживачів, що входять у вузол, визначається по формулі (2.1):

- розрахункова активна потужність обрізного модуля (ОМ)

$$P_{p.OM} = 160 \cdot 0,7 = 112 \text{ кВт.}$$

Розрахункова активна потужність електроспоживачів у вузлі

$$\sum P_{p.ЩУОМ} = P_{p.OM}, \quad (2.15)$$

$$\sum P_{p.ЩУОМ} = 112 \text{ кВт.}$$

Розрахункова реактивна потужність електроспоживачів, що входять у вузол, визначається по формулі (2.2):

- розрахункова реактивна потужність обрізного модуля (ОМ)

$$Q_{p.OM} = 112 \cdot 0,75 = 84 \text{ кВАр.}$$

Розрахункова реактивна потужність електроспоживачів у вузлі

$$\sum Q_{p.ЩУОМ} = Q_{p.OM}, \quad (2.16)$$

$$\sum Q_{p.ЩУОМ} = 84 \text{ кВАр.}$$

Розрахункова повна потужність електроспоживачів у вузлі визначається по формулі (2.3)

$$S_{p.ЩУОМ} = \sqrt{112^2 + 84^2} = 140 \text{ кВА.}$$

Розрахунковий струм електроспоживачів вузла ЩУ ОМ визначається по формулі (2.6)

$$I_{p.ЩУОМ} = \frac{140}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 212,7 \text{ А.}$$

### 2.1.7. Розрахунок навантаження вузла ВРУ5

Розрахункова активна потужність електроспоживачів, що входять у вузол, визначається по формулі (2.1):

- розрахункова активна потужність сушильної камери (СК1)

$$P_{p.СК1} = 214 \cdot 0,85 = 181,9 \text{ кВт,}$$

- розрахункова активна потужність ЩО сушильних камер (ЩО СК)

										ДП 2022 141	Арк.
											21
Змн.	Арк.	№ доку	Підпис	Дата							

$$P_{p.ЩОСК} = 23 \cdot 1,0 = 23 \text{ кВт.}$$

Розрахункова активна потужність електроспоживачів у вузлі

$$\sum P_{p.ВРУ5} = P_{p.СК1} + P_{p.ЩОСК}, \quad (2.17)$$

$$\sum P_{p.ВРУ5} = 181,9 + 23 = 204,9 \text{ кВт.}$$

Розрахункова реактивна потужність електроспоживачів, що входять у вузол, визначається по формулі (2.2):

- розрахункова реактивна потужність сушильної камери (СК1)

$$Q_{p.СК1} = 181,9 \cdot 0,75 = 136,42 \text{ кВАр,}$$

- розрахункова реактивна потужність ЩО сушильних камер (ЩО СК)

$$Q_{p.ЩОСК} = 23 \cdot 0,75 = 17,25 \text{ кВАр.}$$

Розрахункова реактивна потужність електроспоживачів у вузлі

$$\sum Q_{p.ВРУ5} = Q_{p.СК1} + Q_{p.ЩОСК}, \quad (2.18)$$

$$\sum Q_{p.ВРУ5} = 136,42 + 17,25 = 153,67 \text{ кВАр.}$$

Розрахункова повна потужність електроспоживачів у вузлі визначається по формулі (2.3)

$$S_{p.ВРУ5} = \sqrt{204,9^2 + 153,67^2} = 256,12 \text{ кВА.}$$

Розрахунковий струм електроспоживачів вузла ЩУ ОМ визначається по формулі (2.6)

$$I_{p.ВРУ5} = \frac{256,12}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 389,13 \text{ А.}$$

### 2.1.8. Розрахунок навантаження вузла ВРУ6

Розрахункова активна потужність електроспоживачів, що входять у вузол, визначається по формулі (2.1):

- розрахункова активна потужність сушильних камер (СК2)

$$P_{p.СК2} = 286 \cdot 0,85 = 243,1 \text{ кВт.}$$

Розрахункова активна потужність електроспоживачів у вузлі

$$\sum P_{p.ВРУ6} = P_{p.СК2}, \quad (2.19)$$

										ДП 2022 141	Арк.
											22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							







- розрахункова активна потужність ЩО лінії сирого сортування (ЩО ЛС)

$$P_{p.ЩОЛС} = 50 \cdot 1,0 = 50 \text{ кВт},$$

Розрахункова активна потужність електроспоживачів у вузлі

$$\sum P_{p.ВРУ9} = P_{p.ЛС} + P_{p.ЩОЛС}, \quad (2.25)$$

$$\sum P_{p.ВРУ9} = 210 + 50 = 260 \text{ кВт}.$$

Розрахункова реактивна потужність електроспоживачів, що входять у вузол, визначається по формулі (2.2):

- розрахункова реактивна потужність лінії сирого сортування (ЛС)

$$Q_{p.ЛС} = 210 \cdot 0,75 = 157,5 \text{ кВАр},$$

- розрахункова реактивна потужність ЩО лінії сирого сортування (ЩО ЛС)

$$Q_{p.ЩОЛС} = 50 \cdot 0,75 = 37,5 \text{ кВАр}.$$

Розрахункова реактивна потужність електроспоживачів у вузлі

$$\sum Q_{p.ВРУ9} = Q_{p.ЛС} + Q_{p.ЩОЛС}, \quad (2.26)$$

$$\sum Q_{p.ВРУ9} = 157,5 + 37,5 = 195 \text{ кВАр}.$$

Розрахункова повна потужність електроспоживачів у вузлі визначається по формулі (2.3)

$$S_{p.ВРУ9} = \sqrt{260^2 + 195^2} = 325 \text{ кВА}.$$

Розрахунковий струм електроспоживачів вузла ВРУ9 визначається по формулі (2.6)

$$I_{p.ВРУ9} = \frac{325}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 493,8 \text{ А}.$$

### 2.1.12. Розрахунок навантаження вузла ВРУ10

Розрахункова активна потужність електроспоживачів, що входять у вузол, визначається по формулі (2.1):

- розрахункова активна потужність насосної пожежогасіння (НП)

$$P_{p.НП} = 30 \cdot 0,5 = 15 \text{ кВт}.$$

Розрахункова активна потужність електроспоживачів у вузлі

									ДП 2022 141	Арк.
										26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						



Розрахункова активна потужність електроспоживачів у вузлі

$$\sum P_{p.BPY4} = P_{p.TOK} + P_{p.ЦОК}, \quad (2.29)$$

$$\sum P_{p.BPY4} = 56 + 20 = 76 \text{ кВт.}$$

Розрахункова реактивна потужність електроспоживачів, що входять у вузол, визначається по формулі (2.2):

- розрахункова реактивна потужність технологічного встаткування котельні (ТОК)

$$Q_{p.TOK} = 56 \cdot 0,75 = 42 \text{ кВАр,}$$

- розрахункова реактивна потужність ЩО котельні (ЩОК)

$$Q_{p.ЦОК} = 20 \cdot 0,75 = 15 \text{ кВАр.}$$

Розрахункова реактивна потужність електроспоживачів у вузлі

$$\sum Q_{p.BPY4} = Q_{p.TOK} + Q_{p.ЦОК}, \quad (2.30)$$

$$\sum Q_{p.BPY4} = 42 + 15 = 57 \text{ кВАр.}$$

Розрахункова повна потужність електроспоживачів у вузлі визначається по формулі (2.3)

$$S_{p.BPY4} = \sqrt{76^2 + 57^2} = 115,1 \text{ кВА.}$$

Розрахунковий струм електроспоживачів вузла ВРУ4 визначається по формулі (2.6)

$$I_{p.BPY4} = \frac{115,1}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 174,8 \text{ А.}$$

### 2.2.2. Розрахунок навантаження вузла РЩ ВК1

Розрахункова активна потужність електроспоживачів, що входять у вузол, визначається по формулі (2.1):

- розрахункова активна потужність водогрійного котла (ВК1)

$$P_{p.BK1} = 265 \cdot 0,7 = 185,5 \text{ кВт.}$$

Розрахункова активна потужність електроспоживачів у вузлі

$$\sum P_{p.РЩВК1} = P_{p.BK1}, \quad (2.31)$$

					ДП 2022 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

$$\sum P_{p.РЩВК1} = 185,5 \text{ кВт.}$$

Розрахункова реактивна потужність електроспоживачів, що входять у вузол, визначається по формулі (2.2):

- розрахункова реактивна потужність водогрійного котла (ВК1)

$$Q_{p.ВК1} = 185,5 \cdot 0,75 = 139,12 \text{ кВАр.}$$

Розрахункова реактивна потужність електроспоживачів у вузлі

$$\sum Q_{p.РЩВК1} = Q_{p.ВК1}, \quad (2.32)$$

$$\sum Q_{p.РЩВК1} = 139,12 \text{ кВАр.}$$

Розрахункова повна потужність електроспоживачів у вузлі визначається по формулі (2.3)

$$S_{p.РЩВК1} = \sqrt{185,5^2 + 139,12^2} = 231,87 \text{ кВА.}$$

Розрахунковий струм електроспоживачів вузла РЩ ВК1 визначається по формулі (2.6)

$$I_{p.РЩВК1} = \frac{231,87}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 352,2 \text{ А.}$$

Отримані значення  $P_p, Q_p, S_p, I_p$  для вузла РЩ ВК1 будуть однакові для вузла РЩ ВК2, тому розрахунок для нього не виконується.

### 2.3. Визначення розрахункової потужності освітлювального устаткування

У даному проекті буде зроблений розрахунок зовнішнього освітлення деревопереробного цеху.

На території промислових підприємств об'єктами освітлення є автодороги, пішохідні доріжки, під'їзди до будинків, відкриті робочі площадки, границі територій (охоронна зона).

Зовнішнє освітлення, як правило, виконується загальним і повинне забезпечувати вільне переміщення людей і транспорту.

Норми освітленості для зовнішнього освітлення наведені в главі 3 [3].

При виборі джерел світла слід враховувати характеристики самих джерел світла, призначених для прожекторів або світильників; призначення й розміри

										ДП 2022 141	Арк.
											29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

освітлюваної площі; необхідні освітленості й необхідні конструкції для установки світильників і прожекторів.

Для зовнішнього освітлення застосовують освітлювальні установки зі світильниками для зовнішнього освітлення й прожекторами. Коли при освітленні відкритих просторів площею більше 5000 м<sup>2</sup> неможливо розмістити світильники над освітлюваною поверхнею, застосовують прожектори. У всіх випадках, коли небажана установка опор на території великих площ, застосовують прожекторне освітлення [4].

Для освітлення території деревопереробного заводу вибираємо прожектори типу UMS1000H с металогалогенними лампами типу ДРИ, номінальної потужності  $P_n = 1000 \text{ Вт}$ , коефіцієнт потужності  $\cos \varphi = 0,85$ . Прожектори передбачається закріпити по фасадах будинків і споруд.

### 2.3.1. Розрахунок кількості прожекторів

Розрахунок кількості прожекторів, необхідних для освітлення території заводу, проводиться по методу питомої потужності [4].

Питома потужність визначається по формулі

$$\omega = m \cdot E_n \cdot K_s, \quad (2.33)$$

де  $E_n$  – нормована освітленість, лк,  $E_n = 2$  згідно [3];

$K_s$  – коефіцієнт запасу, прийнятий для прожекторного освітлення  $K_s = 1,5$ ;

$m$  – коефіцієнт, прийнятий для прожекторного освітлення з лампами ДРИ  $m = 0,14$ .

$$\omega = 0,14 \cdot 2 \cdot 1,5 = 0,42 \text{ Вт/м}^2.$$

Встановлена потужність всіх прожекторів визначається по формулі

$$P_y = \omega \cdot S, \quad (2.34)$$

де  $S$  – площа освітлюваної поверхні,  $S = 77500, \text{ м}^2$ .

$$P_y = 0,42 \cdot 77500 = 32,55 \text{ кВт}.$$

Необхідне число прожекторів  $N$ , що забезпечує освітленість  $E_n$ , визначається по формулі

										ДП 2022 141	Арк.
											30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

$$N = \frac{P_y}{P_n}, \quad (2.35)$$

де  $P_n$  – потужність однієї лампи, кВт.

$$N = \frac{32,55}{1} = 33 \text{ шт.}$$

До установки приймаються 33 прожектори типу UMS1000H з металогалогенними лампами типу ДРИ, номінальною потужністю  $P_n = 1000 \text{ Вт}$ .

### 2.3.2. Розрахунок навантаження вузла ЩУО

Розрахункова активна потужність електроспоживачів, що входять у вузол, визначається по формулі (1.1), коефіцієнт попиту  $K_n$  для розрахунку мережі зовнішнього освітлення варто приймати рівним одиниці [1]:

- розрахункова активна потужність прожекторів зовнішнього освітлення (ПНО)

$$P_{p, \text{ПНО}} = 32,55 \cdot 1,0 = 32,55 \text{ кВт.}$$

Розрахункова активна потужність електроспоживачів у вузлі

$$\sum P_{p, \text{ЩУО}} = P_{p, \text{ПНО}}, \quad (2.36)$$

$$\sum P_{p, \text{ЩУО}} = 32,55 \text{ кВт.}$$

Розрахункова реактивна потужність електроспоживачів, що входять у вузол, визначається по формулі (2.2):

- розрахункова реактивна потужність прожекторів зовнішнього освітлення (ПНО)

$$Q_{p, \text{ПНО}} = 32,55 \cdot 0,62 = 20,18 \text{ кВАр.}$$

Розрахункова реактивна потужність електроспоживачів у вузлі

$$\sum Q_{p, \text{ЩУО}} = Q_{p, \text{ПНО}}, \quad (2.37)$$

$$\sum Q_{p, \text{ЩУО}} = 20,18 \text{ кВАр.}$$

Розрахункова повна потужність електроспоживачів у вузлі визначається по формулі (2.3):

$$S_{p, \text{ЩУО}} = \sqrt{32,55^2 + 20,18^2} = 38,3 \text{ кВА.}$$

										ДП 2022 141	Арк.
											31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

Розрахунковий струм електроспоживачів вузла ЩУО визначається по формулі (2.6)

$$I_{p,ЩУО} = \frac{38,3}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 58,19 \text{ А.}$$

#### 2.4. Визначення сумарного розрахункового навантаження на комплектну трансформаторну підстанцію

Таблиця 2.1

Визначення сумарного розрахункового навантаження на КТП

Найменування вузлів живлення	Розрахункова активна потужність $\sum P_p, \text{кВт}$	Розрахункова реактивна потужність $\sum Q_p, \text{кВАр}$	Розрахункова повна потужність $S_p, \text{кВА}$	Розрахунковий струм $I_p, \text{А}$
ВРУ1	188,2	138,12	233,45	354,7
ВРУ2	155	116,25	193,75	294,37
ВРУ4	76	57	115,1	174,8
РЩ ВК1	185,5	139,12	231,87	352,2
РЩ ВК2	185,5	139,12	231,87	352,2
ВРУ5	204,9	153,67	256,12	389,13
ВРУ6	243,1	182,32	303,87	461,7
ВРУ8	290	217,5	362,5	550,76
ВРУ9	260	195	325	493,8
Всього по ШМА - 1	1788	1338	2233	
ШМА - 2				
РЩЗ	580	435	725	950
ЩУ КС1	224	168	280	425,4
ЩУ КС2	224	168	280	425,4
ЩУ КС3	224	168	280	425,4
ЩУ ФБС	196	147	245	372,2
ЩУ ОМ	112	84	140	212,7
ВРУ7	65,9	46,32	80,91	123
ВРУ10	15	11,25	18,75	28,5
ЩУО	32,55	20,18	38,3	58,19
Всього по ШМА - 2	1673	1247	2086	
Всього по КТП	3461	2585	4320	

Розрахунковий струм магістрального шинопроводу ШМА-1 і ШМА-2 трансформаторної підстанції (ТП) визначається по формулі (2.6)

$$I_{p.ШМА-1} = \frac{2233}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 3396 \text{ А.}$$

$$I_{p.ШМА-2} = \frac{2086}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 3173 \text{ А.}$$

					ДП 2022 141	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3. РОЗРОБКА ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ПІДСТАНЦІЇ

Вибір типу, числа й схем живлення трансформаторів підстанції обумовлений величиною й характером електричних навантажень, розміщенням навантажень на генеральному плані підприємства, а також виробничими, архітектурно-будівельними й експлуатаційними вимогами, враховуючи конфігурацію виробничого приміщення, розташування технологічного устаткування, умови навколишнього середовища, умови охолодження, вимоги пожежної й електричної безпеки й типи застосовуваного обладнання.

У даному проекті для забезпечення живлення електроспоживачів деревопереробного цеху прийнята до установки комплектна трансформаторна підстанція зовнішнього виконання (КТПН) позначена на графічному кресленні 1.

Комплектною трансформаторною підстанцією називається підстанція, що складається із трансформаторів і блоків (КРУ або КРУН і інших елементів), що поставляються в зібраному або повністю підготовленому для складання вигляді [1].

Сучасні КТПН складаються з наступних основних вузлів:

- шаф вводу високої напруги;
- трансформаторів;
- розподільчого пристрою низької напруги.

Згідно п. 4.2.13 [1] електроустаткування, струмоведучі частини, ізолятори, кріплення, огороження, несучі конструкції, ізоляційні й інші відстані повинні бути вибрані й установлені так, щоб:

					ДП 2022 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Йовбак В.В.			<b>Розробка трансформаторної підстанції</b>	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Балюта С.М.					34	
Реценз.						ННІП ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-11ск		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.						

1. викликувані нормальними умовами роботи електроустановки зусилля, нагрів, електрична дуга або інші супутні їй роботі явища (іскріння, викид газів тощо) не могли заподіяти шкоду обслуговуючому персоналу, а також призвести до пошкодження устаткування й виникненню короткого замикання або замикання на землю;

2. при порушенні нормальних умов роботи електроустановки була забезпечена необхідна локалізація пошкоджень, обумовлених дією КЗ;

3. при знятій напрузі з якого-небудь кола, апарати що відносяться до нього, струмоведучі частини й конструкції могли піддаватися безпечному технічному обслуговуванню й ремонту без порушення нормальної роботи сусідніх кіл;

4. була забезпечена можливість зручного транспортування устаткування.

### **3.1. Вибір числа й потужності трансформаторів на підстанції**

Вибір числа й потужності силових трансформаторів для головних понижувальних і цехових трансформаторних підстанцій промислових підприємств повинен бути правильним, технічно й економічно обґрунтованим, тому що він впливає на раціональну побудову схем промислового електропостачання.

При виборі числа й потужності силових трансформаторів важливими критеріями є надійність електропостачання, витрата кольорового металу й споживана трансформаторна потужність.

Потужність силових трансформаторів у нормальних умовах повинна забезпечувати живлення всіх приймачів електроенергії промислових підприємств. Вибір потужності силових трансформаторів слідварто здійснювати з урахуванням економічно доцільного режиму їхньої роботи й відповідного забезпечення резервування живлення споживачів при відключенні одного із трансформаторів. При цьому слід мати на увазі, що навантаження трансформаторів у нормальних умовах не повинно по нагріванню викликати скорочення природного строку його служби [2].

									ДП 2022 141	Арк.
										35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Вибір кількості трансформаторів залежить від вимог до надійності електропостачання споживачів, що живляться від підстанції, [5].

Оскільки, електроспоживачі деревопереробного цеху по ступені надійності електропостачання відносяться до споживачів II і I категорії, то на підстанції прийняті до установки два трансформатори.

Номинальна потужність одного трансформатора становить [6]

$$S_{\text{шт}} = \frac{S_{\text{р.тп}}}{N \cdot K_{\text{зав}}}, \quad (3.1)$$

де  $N$  – число трансформаторів;

$K_{\text{зав}}$  – коефіцієнт завантаження трансформатора.

Найвигідніше завантаження цехових трансформаторів залежить від категорії надійності споживачів електроенергії, від числа трансформаторів і способу резервування. При перевазі навантажень другої категорії для двотрансформаторних підстанцій у випадку взаємного резервування трансформаторів на нижчій напрузі рекомендується приймати  $K_{\text{зав}} = 0,7$  [6].

$$S_{\text{шт}} = \frac{4320}{2 \cdot 0,7} = 3085 \text{ кВА.}$$

Приймаємо до установки КТПН на два трансформатори одиничною потужністю  $S_{\text{шт}} = 2500 \text{ кВА}$  і  $S_{\text{шт}} = 4000 \text{ кВА}$ .

### 3.2. Техніко-економічне порівняння вибраних варіантів трансформаторів

#### Технічне порівняння

I – й варіант один трансформатор ТМ-2500/10 ( $S_{\text{тр.н}} = 2500 \text{ кВА}$ ).

II – й варіант один трансформатор ТМ-4000/10 ( $S_{\text{н.т}} = 4000 \text{ кВА}$ ).

Перевіряємо встановлену потужність трансформаторів в аварійному режимі при відключенні одного трансформатора й необхідності забезпечити електропостачання споживачів першої й другої категорії в період максимуму з допустимим навантаженням, рівним 140 %. Повинна виконуватися умова [7]

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

$$1,4 \cdot S_{\text{нм}} > 0,7 \cdot S_{\text{р.тп}} \quad (3.2)$$

I – й варіант  $1,4 \cdot S_{\text{нм}} = 1,4 \cdot 2500 = 3500 \text{кВА} > 0,7 \cdot S_{\text{р.тп}} = 0,7 \cdot 4320 = 3024 \text{кВА}$ .

II – й варіант  $1,4 \cdot S_{\text{нм}} = 1,4 \cdot 4000 = 5600 \text{кВА} > 0,7 \cdot S_{\text{р.тп}} = 0,7 \cdot 4320 = 3024 \text{кВА}$ .

Отже, вибрані потужності трансформаторів забезпечують електропостачання деревопереробного заводу як у нормальному, так і в аварійному режимах.

### Економічне порівняння

Для порівняння виписуємо технічні дані трансформаторів.

Таблиця 3.1

### Технічні дані трансформаторів

№ n/n	Тип	S <sub>ном</sub> , кВА	U <sub>ном</sub> , кВ		Втрати, кВт		U <sub>кз</sub> , %	I <sub>х</sub> , %	Вартість К, грн
			ВН	НН	P <sub>х.х.</sub>	P <sub>к.з.</sub>			
1	ТМ – 2500/10	2500	10	0,4	3,85	23,5	6,5	1,0	420000
2	ТМ – 4000/10	4000	10	0,4	4,3	33,9	6,5	0,9	650000

Виходячи з вище приведеного нам необхідно вибрати з цих двох варіантів – найкращий.

Визначаємо, по варіантах, приведені втрати електричної енергії в трансформаторах за формулою:

$$\Delta W = n \cdot \left[ \left( P_{\text{х.х.}} + K_{\text{з.л.}} \cdot \frac{I_{\text{х.х.}} \%}{100} \cdot S_{\text{н.тр.}} \right) \cdot T_{\text{д}} + K_{\text{з}}^2 \cdot \left( P_{\text{к.з.}} + K_{\text{з.л.}} \cdot \frac{U_{\text{к.з.}} \%}{100} \cdot S_{\text{н.тр.}} \right) \cdot \tau \right], \text{кВт} \cdot \text{год};$$

де n – кількість працюючих трансформаторів однакової потужності;

P<sub>х.х.</sub> – втрати потужності холостого ходу, кВт;

K<sub>з.л.</sub> – коефіцієнт втрати потужності електричної системи, для нашого випадку приймаємо K<sub>зп</sub> = 0,06 кВт/квар;

I<sub>х.х.</sub> – струм холостого ходу, %;

S<sub>н.тр.</sub> – номінальна потужність трансформатора, кВА;

T<sub>д</sub> – дійсний час роботи трансформатора рік, год;

K<sub>з</sub> – коефіцієнт завантаження трансформатора;

P<sub>к.з.</sub> – потужність короткого замикання, кВт;

U<sub>к.з.</sub> – напруга короткого замикання, %;

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



## Зведені дані техніко-економічних розрахунків вибору трансформаторів

№ п/п	Види витрат	Одиниці виміру	Варіант трансформатора	
			I	II
1	Тип трансформатора	-	2хТМ- 2500/10	2хТМ- 4000/10
2	Капітальні витрати	грн.	840000	1300000
3	Річні втрати електроенергії	кВт·год	316604	273087
4	Вартість річних витрат електроенергії	грн.	1108114	955805
5	Амортизаційні витрати	грн.	84000	130000
6	Експлуатаційні річні витрати	грн.	1192114	1085805
7	Приведені річні витрати	грн.	1318114	1270805

Виходячи з економічного розрахунку, при майже рівних приведених затратах (різняються менше ніж на 5 %) вибираємо варіант у якого менші капітальні вкладення, яким являється I варіант, тобто приймаємо до установки два силових трансформатори 2хТМЗ-2500-10/0,4.

Технічні характеристики трансформаторів ТМЗ:

Трансформатори ТМЗ виконані в герметичному виконанні, як конструктивний захист масла використовується сухий азот (принцип азотної подушки між дзеркалом масла й кришкою трансформатора). Магнітопровід трансформатора ТМЗ тристержневий, плоскошихтований з холоднокатаної електротехнічної сталі. Обмотки багат шарові, циліндричні, виконані з алюмінієвого проводу. Бак трансформатора ТМЗ зварений, прямокутної форми, заповнюється трансформаторним маслом. Кришка трансформатора ТМЗ виконана плоскою, кріпиться болтами до обрамлення баку. Води ВН знімні, ізоляторні, вводи НН – шинні. Розміщені вводи на бічних стінках баку. За замовленням трансформатори ТМЗ можуть бути обладнані полозками, що забезпечують можливість їхнього переміщення. Трансформатори ТМЗ транспортуються в повністю зібраному вигляді, заповнені маслом.

### 3.3. Компенсація реактивної потужності

До мереж напругою до 1 кВ на промислових підприємствах підключається більша частина споживачів реактивної потужності. Коефіцієнт потужності навантаження НН зазвичай не перевищує 0,8. Мережі напругою 380-660 В більше

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

віддалені від джерел живлення, тому передача реактивної потужності в мережу НН вимагає збільшення перерізу проводів і кабелів, підвищення потужності силових трансформаторів, так як супроводжується більш високими втратами активної й реактивної потужності. Витрати, обумовлені перерахованими факторами, можна зменшити або навіть усунути, якщо здійснити компенсацію реактивної потужності безпосередньо мережі НН. Джерелом реактивної потужності в мережі НН є конденсаторні батареї.

Потужність компенсуючого пристрою  $Q_{\kappa}$ , кВАр, визначається як різниця між фактичною найбільшою реактивною  $\sum Q_{p,III}$  потужністю, кВАр навантаження підприємства й граничною реактивною  $Q_e$  потужністю, кВАр, що надається підприємству енергосистемою за умовами режиму її роботи [6]

$$Q_{\kappa} = \sum Q_{p,III} - Q_e = \sum P_{p,III} \cdot (tg\varphi_p - tg\varphi_e), \quad (3.3)$$

де  $tg\varphi_p$  – фактичний тангенс кута, що відповідає потужностям навантаження  $\sum Q_{p,III}$  й  $\sum P_{p,III}$ , коефіцієнт потужності до компенсації  $\cos\varphi_p = 0,8$ ,  $tg\varphi_p = \frac{\sum Q_{p,III}}{\sum P_{p,III}}$ ;  $tg\varphi_e$  – оптимальний тангенс кута, прийнятий для даного типу виробництва  $tg\varphi_e = 0,35$ ,  $\cos\varphi_p = 0,94$  [8].

$$tg\varphi_p = \frac{2585}{3461} = 0,74;$$

$$Q_{\kappa} = 3461 \cdot (0,74 - 0,35) = 3461 \cdot 0,39 = 1350 \text{ кВАр.}$$

Приймаються до установки дві конденсаторні установки типу КРМ (УКМ58) -0,4-675-25 УХЛ4.2, що підключаються до шин розподільчого пристрою РУ-0,4 кВ.

Реактивна потужність після компенсації визначається по формулі [7]

$$Q_{n,к} = \sum Q_{p,III} - Q_{\kappa}, \quad (3.4)$$

$$Q_{n,к} = 2585 - 1350 = 1235 \text{ кВАр.}$$

Повна потужність після компенсації визначається по формулі [7]

$$S_{n,к} = \sqrt{(\sum P_{p,III})^2 + Q_{n,к}^2}, \quad (3.5)$$

										ДП 2022 141	Арк.
											40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

$$S_{n.k} = \sqrt{3461^2 + 1235^2} = 3675 \text{ кВАр.}$$

Коефіцієнт потужності після компенсації визначається по формулі [7]

$$\cos \varphi_{n.k} = \frac{\sum P_{p.ТП}}{S_{n.k}}, \quad (3.6)$$

$$\cos \varphi_{n.k} = \frac{3461}{3675} = 0,94$$

### 3.4. Компонування проектованої комплектної трансформаторної підстанції зовнішньої установки

Підстанції трансформаторні комплектні (КТПН) потужністю до 3200 кВА призначені для прийому електричної енергії трифазного змінного струму частотою 50 Гц напругою 10 кВ, перетворення її в електричну енергію змінного струму частотою 50 Гц напругою 0,4 кВ і розподілу електричної енергії на тупикових і прохідних лініях. Використовуються для електропостачання сільськогосподарських об'єктів, нафтогазових родовищ, окремих населених пунктів і промислових об'єктів.

КТП складаються з наступних основних відсіків:

- пристроїв високої напруги;
- силових трансформаторів;
- розподільчих пристроїв низької напруги.

Приймаємо до установки комплектну трансформаторну підстанцію зовнішньої установки (КТПН) чебоксарського заводу силового обладнання «Електросила» 2хКТПТ-2500/10/0,4-2000 КК.

					ДП 2015 6.050701	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Основні технічні дані КТПН

Найменування параметра	Значення параметра для КТПН потужністю 2500 кВА
Номинальна напруга на стороні ВН, кВ	10
Найбільша робоча напруга на стороні ВН, кВ	12
Номинальна напруга на стороні НН, кВ	0,4
Струм термічної стійкості на стороні ВН, кА	31,5
Струм електродинамічної стійкості на стороні ВН, кА	51
Струм електродинамічної стійкості на стороні НН, кА	100
Струм термічної стійкості на стороні НН, кА	40
Струм збірних шин (на стороні НН), кА	3,61

**3.4.1. Пристрій високої напруги комплектної трансформаторної підстанції**

Вводи напруги 10 кВ здійснюються високовольтним кабелем.

Пристрій високої напруги (ПВН) КТП тупикового типу складається з камер вводів напруги КСО-399.

Камери збірні однобічного обслуговування серії КСО-399 призначені для прийому й розподілу електричної енергії трифазного змінного струму частотою 50 Гц напругою 6 (10) кВ для системи із глухозаземленою нейтраллю.

Камера являє собою металоконструкцію, зібрану з листів гнутих профілів. Всередині камери розміщена апаратура головних кіл. Рукоятки приводів і апаратів керування розташовані з фасадної сторони камери КСО. Реле захисту, керування, сигналізації, прилади обліку й вимірювання розташовані як з фасадної сторони, так і всередині камери КСО.

Для огляду апаратури й стану ошиновки встановлені лампи внутрішнього освітлення камери, що забезпечують їхню безпечну заміну якщо буде потреба без зняття напруги.

Всі встановлені в камері КСО апарати й прилади, що підлягають заземленню, заземлені.

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

Каркас камери безпосередньо приварюється до металевих заземлених заставних підстав приміщення. Шини заземлення (провідники) пофарбовані в чорний колір.

Безпека й зручність роботи персоналу забезпечується за рахунок наявного індикатора, що показує стан вимикача, а також комбінацією електричних і механічних блокувань, що виключають помилкові дії персоналу.

У якості ПВН КТП деревопереробного заводу використовуються дві камери КСО-399. У камерах необхідно встановити:

- вакуумні вимикачі ВВ/TEL-10;
- номінальний струм  $I_n = 1600 \text{ A}$ ;
- номінальний струм відключення  $I_{відкл} = 20 \text{ кА}$ ;
- струм електродинамічної стійкості  $I_{ел.дин.} = 20 \text{ кА}$ ;
- номінальна напруга приводу кіл  $U_{н.пр} = 220 \text{ В}$ .
- трансформатори струму ТОЛ-10 УЗ
- коефіцієнт трансформації 50-1500/5;
- струм термічної стійкості 40 кА.

### 3.4.2. Компонування розподільчого пристрою 0,4 кВ

На напругу 0,4 кВ прийнята схема розподільчого пристрою (РУ) «Одна одинарна, секціонована вимикачем, система шин».

Живлення секцій шин здійснюється від силових трансформаторів, підключених до щита 0,4 кВ через автоматичні вимикачі.

РУ-0,4 кВ укомплектовано панелями ЩО70.

Панелі розподільчих щитів ЩО70 призначені для комплектування розподільчих пристроїв напругою 380/220 В змінного струму частотою 50 Гц, які служать для прийому й розподілу електричної енергії, захисту від перевантажень і струмів короткого замикання.

Компонування проектного РУ-0,4 кВ:

Вводні панелі – ЩО70-08-19В3 – шинний ввод;

									ДП 2022 141	Арк.
										43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

На вводних панелях встановлені комутаційна й захисна апаратура, трансформатори струму, амперметри й вольтметр.

На вводній панелі може бути, при наявності вимог опитуваного аркуша, встановлений трансформатор струму на нульовому виводі від силового трансформатора для здійснення захисту від замикання на землю. Вводні панелі можуть комплектуватися щитком з активним і реактивним лічильниками.

На панелях з автоматичними вимикачами розташовуються стаціонарні (невисувні) вимикачі серії Э40УВ на струми 2500, 4000 А.

Лінійні панелі – ЩО70-05-19УЗ;

На відходящих лініях панелей встановлюється комутаційна й захисна апаратура, а також трансформатори струму й амперметри в кожній фазі ліній, що відходять.

Панелі виготовляються з рубильниками й запобіжниками або автоматичними вимикачами.

На панелях з автоматичними вимикачами розташовуються вимикачі серії ВА-52 на номінальний струм 100, 160, 250, 400 і 630 А, а також серії ВА-55 на номінальний струм 800, 1000, 1250 і 1600 А.

Секційні панелі – ЩО70-06-19УЗ;

Секційні панелі призначені для секціонування шин розподільчого пристрою в тих випадках, коли кожна із секцій нормально одержує живлення від окремого трансформатора. За допомогою цих панелей комплектуються розподільчі пристрої двотрансформаторних підстанцій.

Панелі виготовляються з рубильниками або автоматичними вимикачами.

На панелях з автоматичними вимикачами розташовуються вимикачі серії Э40В на номінальний струм 4000 А.

Панель із апаратурою автоматичного включення резерву (АВР).

Панель призначена для двотрансформаторної підстанції, у якій необхідно передбачити автоматичне включення резерву.

У комплектній трансформаторній підстанції зовнішньої установки застосовано гібридний тиристорно-контактний автоматичний ввід резерву (ТАВР).

					ДП 2022 141	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Автоматичне включення резерву забезпечується апаратурою, встановленою у двох панелях: секційною й тиристорно-контактним автоматичним вводом резерву. У тиристорно-контактному автоматичному ввіді резерву встановлений трифазний тиристорний ключ змінного струму.

У панелях розподільчого пристрою також передбачена установка трансформаторів струму типу ТШН.

Схема головних електричних з'єднань комплектної трансформаторної підстанції зовнішньої установки представлена на графічному кресленні.

					ДП 2022 141	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 4. ВИБІР СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЦЕХУ Й РОЗРАХУНОК МЕРЕЖІ НИЗЬКОЇ НАПРУГИ

Схема електропостачання електроспоживачів напругою до 1000 В залежить від потужності й кількості електроспоживачів, необхідного ступеню надійності, розподілу їх по території підприємства й інших факторів і повинна задовольняти наступним умовам [9]:

1. забезпечити необхідну надійність електропостачання й безпеку обслуговування;
2. бути гнучкою й зручною в експлуатації;
3. мати оптимальні техніко-економічні показники;
4. допускати можливість індустріального швидкісного монтажу.

Схеми цехових мереж можуть бути радіальними, магістральними й змішаними.

Через наявність пожежонебезпечного середовища в деревопереробному цеху, вибираємо радіальну схему живлення електроспоживачів підприємства.

Радіальні схеми застосовуються для живлення:

1. дрібних груп електроспоживачів, що перебувають у різних місцях і віддалених від щита низької напруги цехової підстанції;
2. потужних зосереджених груп електроспоживачів;
3. електроспоживачів відповідальних споживачів;
4. при наявності на підприємстві несприятливого середовища (агресивного, пожежо-вибухонебезпечних зон тощо).

					ДП 2022 141			
Змн.	Арк.	№ Ккум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Йовбак В.В.			<b>Вибір схеми електропостачання підприємства й розрахунок мережі низької напруги</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Балюта С.М.					46	
Реценз.						ННІП ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-11ск		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.						

#### 4.1 Розрахунок мережі низької напруги (розрахунок перерізів провідників по нагріванню й втраті напруги)

Залежно від прийнятої схеми електропостачання й умов навколишнього середовища цехові електричні мережі виконуються кабельними лініями й проводами.

Як приклад, буде здійснений вибір провідників одного ланцюга від панелі РУ-0,4 кВ до ВРУ2.

Переріз по нагріванню тривалим розрахунковим струмом визначається з умови [6]

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_{\text{трив}}}{K_{\text{нопр}}}, \quad (4.1)$$

де  $I_{\text{доп}}$  – допустимий струм, прийнятий по таблицях [1], А;

$I_{\text{трив}}$  – тривалий розрахунковий струм, прийнятий для групи електроспоживачів  $I_{\text{трив}} = I_p$ , А;

$K_{\text{нопр}}$  – поправочний коефіцієнт на умови прокладки проводів і кабелів [1], при номінальних умовах прокладки  $K_{\text{нопр}} = 1$ .

Втрати напруги в цехових мережах, виконаних проводом або кабелем, визначаються з виразу

$$\Delta U \% = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot L \cdot 100}{U_n} \cdot (r_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi + x_{\text{ном}} \cdot \sin \varphi), \quad (4.2)$$

де  $I_p$  – розрахунковий струм лінії, А;

$L$  – довжина лінії, м;

$\cos \varphi, \sin \varphi$  – відповідні коефіцієнти потужності споживача;

$r_{\text{ном}}, x_{\text{ном}}$  – відповідно питомі активні й індуктивні значення опорів кабелів [6], мОм/м.

Приклад розрахунку для кола РУ-0,4 кВ – ВРУ2.

$I_p = 294,37$  А,  $L = 90$  м,  $\cos \varphi = 0,8, \sin \varphi = 0,75$ .

$$\frac{I_{\text{трив}}}{K_{\text{нопр}}} = \frac{294,37}{1} = 294,37 \text{ А.}$$

									ДП 2022 141	Арк.
										47
Змн.	Арк.	№ Ккум.	Підпис	Дата						

Для лінії РУ-0,4 кВ – ВРУ2 вибираємо кабель ПБВГнг 4х150 мм<sup>2</sup> (ТУ 16.К71-090-2002) силовий, з мідними жилами з ізоляцією зі зшитого поліетилену, розділовим шаром із ПВХ пластикату зниженої пожежонебезпеки, і зовнішньою оболонкою із ПВХ пластикату зниженої пожежонебезпеки, для якого тривалий допустимий струм становить  $I_{доп} = 310 \text{ А}$ , питомі опори  $r_{нит} = 0,124, \text{ мОм/ м}$ ,  $x_{нит} = 0,079, \text{ мОм/ м}$ .

Зробимо перевірку вибраного кабелю по втраті напруги. Втрата напруги не повинна перевищувати 5 % [9].

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 294,37 \cdot 90 \cdot 100}{380} \cdot (0,124 \cdot 0,8 + 0,079 \cdot 0,75) = 1,9\% .$$

Втрата напруги в кабелю не перевищує 5 %, отже для лінії РУ-0,4 кВ – ВРУ2 вибраний кабель ПБВГнг 4х150 мм<sup>2</sup>.

Результати вибору кабелів для інших електроспоживачів зведемо в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Вибір силових кабелів, що живлять розподільчі пристрої підприємства від

РУ-0,4 кВ

Позначення розподільчого пристрою	Розрахунковий струм $I_p, \text{ А}$	Тип кабелю, переріз, мм <sup>2</sup>	Тривало допустимий струм $I_{доп}, \text{ А}$	Довжина лінії $L, \text{ м}$	Втрата напруги $\Delta U, \%$
ВРУ-1	354,7	2хПБВГнг4х95	240	280	2,45
РЦЗ	950	4хПБВГнг4х185	384	100	1,5
ВРУ4	174,8	ПБВГнг4х70	201	70	1,4
ВРУ5	389,13	2хПБВГнг4х95	240	180	3,43
ВРУ6	461,7	2хПБВНнг4х150	310	230	3,3
ВРУ7	123	ПБВГнг4х95	240	250	3
ВРУ8	550,76	2хПБВГнг4х150	310	100	1,86
ВРУ9	493,8	2хПБВГнг4х150	310	100	1,77
ВРУ10	493,8	2хПБВГнг4х150	310	150	2,5
ЩУО	58,19	ПБВГнг4х35	137	10	0,12
ЩУ КС1	425,4	2хПБВГнг4х150	310	100	1,4
ЩУ КС2	425,4	2хПБВГнг4х150	310	100	1,4
ЩУ КС3	425,4	2хПБВГнг4х150	310	100	1,4
ЩУ ФБС	372,2	2хПБВГнг4х150	310	100	1,2
ЩУ ОМ	212,7	ПБВГнг4х150	310	100	1,4
РЦ ВК1	352,2	2хПБВГнг4х150	310	70	1,6
РЦ ВК2	352,2	2хПБВГнг4х150	310	70	1,6

										ДП 2022 141	Арк.
											48
Змн.	Арк.	№ Ккум.	Підпис	Дата							

## 4.2. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі низької напруги й вибір комутаційної апаратури

Мережі промислових підприємств напругою до 1 кВ характеризуються великою довжиною й наявністю великої кількості комутаційно-захисної апаратури. При нарузі до 1 кВ навіть невеликий опір впливає на струм короткого замикання. Тому в розрахунках враховують всі опори короткозамкненого кола, як індуктивні, так і активні. Крім того враховують активний опір всіх перехідних контактів в цьому колі.

При відсутності достовірних даних про контакти і їхні перехідні опори рекомендується при розрахунку струмів короткого замикання (КЗ) враховувати їхні опори в такому чином: 15 мОм – для розподільчих пристроїв на станціях і підстанціях; 20 мОм – для первинних цехових розподільчих пунктів, а також на затискачах апаратів, що живляться радіальними лініями від щитів підстанцій або головних магістралей [6].

Для установок напругою до 1 кВ при розрахунках струмів короткого замикання допускають, що потужність живильної системи не обмежена й напруга на стороні високої напруги понижувального трансформатора є незмінною.

Опори елементів системи електропостачання високої напруги приводять до низької по формулі

$$x_n = x_g \cdot \left( \frac{U_{nn}}{U_{ng}} \right)^2, \quad (4.3)$$

де  $x_n$  – реактивний опір елемента низької напруги, мОм;

$x_g$  – реактивний опір елемента високої напруги, мОм;

$U_{nn}, U_{ng}$  – номінальні напруги на низькій і високій сторонах.

Вибір захисної апаратури здійснюється після розрахунку ударних струмів, кА [6]

$$i_{y0} = \sqrt{2} \cdot I_k \cdot K_{y0}, \quad (4.4)$$

де  $I_k$  – струм трифазного короткого замикання, кА;

									ДП 2022 141	Арк.
										49
Змн.	Арк.	№ Ккум.	Підпис	Дата						





$$I_{K1} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot z_{\Sigma K1}}, \quad (4.15)$$

$$I_{K1} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 8} = 29 \text{ кА.}$$

Ударний струм у точці К1 визначається по формулі (4.4), де  $K_{y0} = 1$

$$i_{y0} = \sqrt{2} \cdot 29 \cdot 1 = 41 \text{ кА.}$$

Далі визначаємо струми КЗ і ударні струми на вводах в розподільчі пристрої, що живлять електроспоживачі заводу. Як приклад, зробимо розрахунок струму КЗ і ударного струму в точці К3.

Для визначення струму короткого замикання в точці К3 необхідно додатково врахувати опори шинопроводів, кабельних ліній і перехідних опорів контактів.

Опори шинопроводу ШМА  $r_u = 0,013 \text{ мОм/м}$ ,  $x_u = 0,015 \text{ мОм/м}$ ,  $L_u = 70 \text{ м}$ .

Опір кабельної лінії РУ-0,4кВ – ВРУ2  $r_{num} = 0,124, \text{ мОм/м}$ ,  $x_{num} = 0,079, \text{ мОм/м}$ ,

Довжина кабельної лінії  $L_2 = 90 \text{ м}$ .

Визначимо активний і індуктивний опір шинопроводу по формулах

$$x_{\Sigma Ш} = x_u \cdot L_u; \quad (4.16)$$

$$r_{\Sigma Ш} = r_u \cdot L_u. \quad (4.17)$$

Підставляємо числові значення у вирази (4.16) і (4.17)

$$x_{\Sigma Ш} = 0,015 \cdot 70 = 1,05 \text{ мОм,}$$

$$r_{\Sigma Ш} = 0,013 \cdot 70 = 0,91 \text{ мОм.}$$

Визначимо активний і індуктивний опори кабельної лінії по формулах

$$x_{\Sigma К} = x_{num} \cdot L_2; \quad (4.18)$$

$$r_{\Sigma К} = r_{num} \cdot L_2. \quad (4.19)$$

Підставляємо числові значення у вирази (4.18) і (4.19)

$$x_{\Sigma К} = 0,079 \cdot 90 = 7,11 \text{ мОм,}$$

$$r_{\Sigma К} = 0,124 \cdot 90 = 11,16 \text{ мОм.}$$

					ДП 2022 141	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## Визначення струмів короткого замикання й ударних струмів

Точка КЗ на розрахунковій схемі	Повний опір до точки КЗ $z_K$ , мОм	Струм короткого замикання $I_k$ , кА	Ударний струм $i_{уд}$ , кА
K2	76,58	3,02	4,72
K4	40,59	5,7	8,05
K5	86,77	2,66	3,7
K6	66,19	3,5	4,9
K7	63,38	3,6	5,1
K8	118,97	1,94	2,7
K9	54,4	4,25	6
K10	54,4	4,25	6
K11	57,83	3,99	5,65
K12	73,24	3,15	4,46
K13	54,4	4,25	6
K14	54,4	4,25	6
K15	54,4	4,25	6
K16	54,4	4,25	6
K17	54,4	4,25	6
K18	52,44	4,4	6,2
K19	52,44	4,4	6,2

## 4.2.1. Вибір комутаційної апаратури для розподільчих пунктів

При виборі автоматичного вимикача існують наступні вимоги:

- номінальна напруга вимикача не повинне бути нижче напруги мережі.

Відмикаюча здатність повинна бути розрахована на максимальні струми короткого замикання, що проходять по захищеному елементу;

- номінальний струм розщеплювача повинен бути не менше найбільшого розрахункового струму навантаження, що довготривало протікає по захищеному елементу

$$I_{н.розщ.} \geq I_p; \quad (4.24)$$

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

- автоматичні вимикачі перевіряються на електродинамічну стійкість

$$i_{ел.дин.} \geq i_{уд}. \quad (4.25)$$

Як приклад, зробимо вибір автоматичного вимикача для розподільчого пункту ВРУ2.

$$I_{р.ВРУ2} = 294,37 \text{ А}, \quad i_{уд.ВРУ2} = 4,06 \text{ кА (табл. 4.1 і 4.2).}$$

Як ввідний автомат у ВРУ2 прийнятий автомат типу ВА99м/400А ЭКФ, номінальний струм якого  $I_n = 400 \text{ А}$ , струм розщеплювача  $I_{н.розщ.} = 310 \text{ А}$ , струм електродинамічної стійкості  $i_{ел.дин.} = 30 \text{ кА}$ , номінальна напруга вимикача  $U_{н.ВА99м} = 380 \text{ В}$ .

Робимо перевірку за формулам (4.24) і (4.25)

$$I_{н.розщ.} = 310 \text{ А} \geq I_{р.ВРУ2} = 294,34 \text{ А},$$

$$i_{ел.дин.} = 30 \text{ кА} \geq i_{уд.ВРУ2} = 4,06 \text{ кА}.$$

Отже овибраний апарат підходить для установки в ВРУ2.

Характеристика апарату ВА99м/400А.

Вимикачі автоматичні серії ВА99м застосовуються для нечастих (до 30) оперативних включень і відключень струму в нормальному режимі, а також для захисту від струмів перевантаження й коротких замикань розподільчих мереж і електродвигунів.

Як ввідно-розподільчий пристрій ВРУ2 приймаємо панель типу ВРУ-8505Е. Панель розподільчого пристрою ВРУ-8505Е призначена для прийому й розподілу електричної енергії, а також для захисту від перевантажень і струмів короткого замикання в трифазних електричних мережах напругою 380/220 В змінного струму частотою 50 Гц.

#### 4.2.2. Вибір комутаційної апаратури для трансформаторної підстанції

При установці більше одного автомату захисту на одній лінії, згідно [1], повинна бути дотримана селективність. По цій умові вибирається струм розщеплювача автомату на ТП

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

$$I_{н.розщ.вводн.} < I_{н.розщ.ТП} \quad (4.26)$$

До установки на ТП для захисту лінії ВРУ2 прийнятий автомат ВА52-39, номінальний струм якого  $I_n = 400 \text{ А}$ , струм розщеплювача  $I_{н.розщ.} = 400 \text{ А}$ , струм електродинамічної стійкості  $i_{ел.дин.} = 55 \text{ кА}$ .

Аналогічно робимо вибір комутаційних апаратів для інших розподільчих пунктів.

Таблиця 4.3

Вибір комутаційної апаратури для розподільчих пунктів

Позначення на схемі	Тип розподільчої панелі	Апарат захисту на вводі			
		Марка	Номінальний струм $I_n$ , А	Струм розщеплювача $I_{н.розщ.}$ , А	Кількість, шт
ВРУ1	ВРУ-8505Е	ВА99М/400А ЭКФ	400	400	1
РЩЗ	ЩО70Э-3-19У3	ВА99М/1600А ЭКФ	1250	1000	2
ВРУ4	ВРУ-8505Э	ВА99М/250А ЭКФ	250	200	1
ВРУ5	ВРУ-8505Э	ВА99М/800А ЭКФ	500	500	1
ВРУ6	ВРУ-8505Э	ВА99М/800А ЭКФ	630	500	1
ВРУ7	ВРУ-8505Э	ВА99М/160А ЭКФ	160	125	1
ВРУ8	ВРУ-8505Э	ВА99М/800А ЭКФ	630	630	1
ВРУ9	ВРУ-8505Э	ВА99М/800А ЭКФ	630	500	1
ВРУ10	ВРУ-8505Э	ВА99М/800А ЭКФ	160	100	1
ЩУО	ССФЕ-3В	ВА99М/160А ЭКФ	160	100	1
ЩУ КС1	ССФЕ-1	ВА99М/400А ЭКФ	400	400	2
ЩУ КС2	ССФЕ-1	ВА99М/400А ЭКФ	400	400	2
ЩУ КС3	ССФЕ-1	ВА99М/400А ЭКФ	400	400	2
ЩУ ФБС	ССФЕ-1Р	ВА99М/400А ЭКФ	400	400	2
ЩУ ОМ	ССФЕ-1	ВА99М/400А ЭКФ	400	310	2
РЩ ВК1	ЩО70Э-3-19У3	ВА99М/400А ЭКФ	400	400	1
РЩ ВК2	ЩО70Э-3-19У3	ВА99М/400А ЭКФ	400	400	1



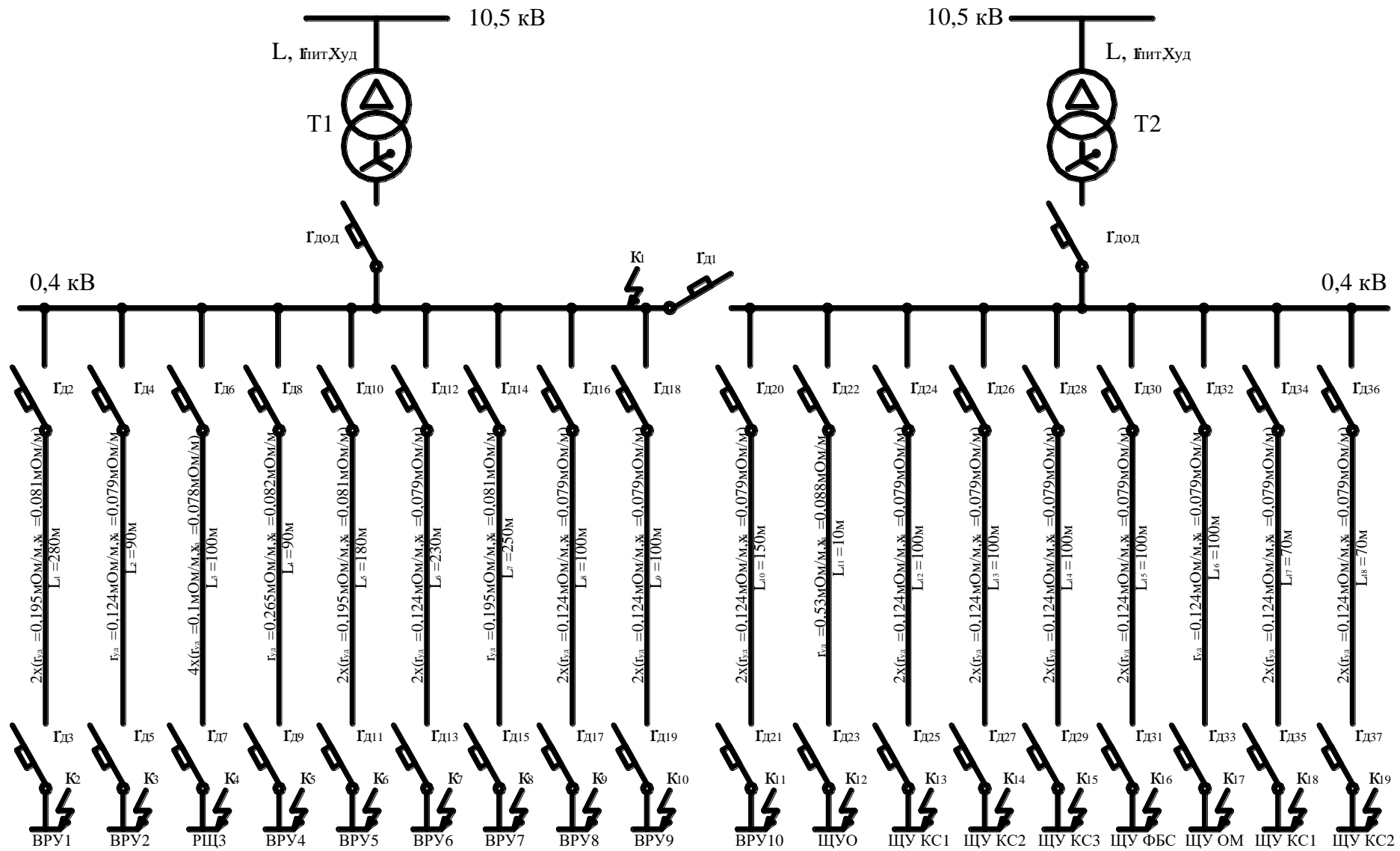


Рис. 4.1. Розрахункова схема до розрахунку струмів КЗ на стороні 0,4 кВ

## 5. РОЗРАХУНОК ЗАЗЕМЛЮЮЧОГО ПРИСТРОЮ

### 5.1 Вибір режиму роботи нейтралі

З урахуванням технологічних особливостей споживачів електроенергії в деревопереробному цеху приймаємо систему заземлення TN-C-S (Т – глухе заземлення нейтралі; N – відкриті провідні частини приєднані до глухозаземленої нейтралі джерела живлення; С – функції нульового захисного й нульового робочого провідників суміщені в одному провіднику; S – нульовий робочий і нульовий захисний провідники розділені). Система TN-C-S – система TN, у якій функції нульового захисного й нульового робочого провідників суміщені в одному провіднику в якійсь її частині, починаючи від джерела живлення. У системі TN-C-S в ввідно-розподільчому пристрої електроустановки суміщений нульовий захисний і нульовий робочий провідник PEN розділений на нульовий захисний PE і нульовий робочий N провідники [7].

### 5.2 Розрахунок заземлюючого пристрою

Згідно [1] опір заземлюючого пристрою в мережах до 1 кВ із глухозаземленою нейтралью повинен бути не більше 4 Ом при лінійній напрузі 380 В джерела трифазного струму.

Частини електроустановок, що підлягають заземленню, повинні мати надійний металевий зв'язок з нейтралью джерела живлення, що виконується за допомогою заземлюючих провідників або нульового проводу.

У якості заземлювачів застосовують для вертикального занурення в землю – сталеві стержні діаметром 12-16 мм, кутову сталь із товщиною стінки не менш 4 мм або сталеві труби з товщиною стінки не менш 3,5 мм; для горизонтального укладання – сталеві смуги товщиною не менш 4 мм або круглу сталь діаметром 6 мм.

					ДП 2022 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Йовбак В.В.			<b>Розрахунок заземлюючого пристрою</b>	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Балюта С.М.					59	
Реценз.						ННІП ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-11ск		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.						

Рекомендується застосовувати довжину вертикальних стержневих електродів 2-5 м, а електродів з кутової сталі – 2,5-3 м. Верхній кінець вертикального заземлювача доцільно заглиблювати на 0,5 - 0,7 м від поверхні землі. Горизонтальні заземлювачі застосовують для зв'язку між собою вертикальних заземлювачів й як самостійні заземлювачі.

Як приклад, зробимо розрахунок заземлюючого пристрою для ділянки лісопиляння.

Відповідно до [1] встановлюємо допустимий опір заземлюючого пристрою  $R_3$ ,  $R_3 = 4 \text{ Ом}$ .

Попередньо з урахуванням відведеної території намічаємо розташування заземлювачів. Заземлювачі будуть розташовуватися в ряд.

Визначаємо розрахунковий питомий опір ґрунту  $\rho$  з урахуванням підвищувального коефіцієнта  $K_n$ , що враховує висихання ґрунту влітку й промерзання його взимку (таблиця 26 [6]);  $\rho = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$

Визначаємо опір розтіканню струму одного вертикального електрода по формулі

$$R_e = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right), \quad (5.1)$$

де  $l$  – довжина вертикального електрода, м;

$d$  – діаметр вертикального електрода, м;

$t$  – відстань від центра вертикального електрода до поверхні землі, м.

У якості вертикальних заземлювачів приймаємо сталеві стержні діаметром  $d = 0,016 \text{ м}$  і довжиною  $l = 5 \text{ м}$ . Глибина закладання електродів – 0,5 м, тоді  $t = 3 \text{ м}$ .

$$R_e = \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 5} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot 5}{0,016} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 3 + 5}{4 \cdot 3 - 5} \right) = 22 \text{ Ом}.$$

Визначаємо число вертикальних заземлювачів з урахуванням коефіцієнту використання вертикальних заземлювачів  $K_{663}$ , розміщених у ряд,  $K_{663} = 0,62$  (таблиця 28 [6]), по формулі

$$N = \frac{R_3}{K_{663} \cdot R_e}, \quad (5.2)$$

										ДП 2022 141	Арк.
											60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

$$N = \frac{22}{0,62 \cdot 4} = 10 \text{ шт.}$$

Визначаємо загальний еквівалентний опір десяти вертикальних заземлювачів по формулі

$$R_e = \frac{R_6}{N \cdot K_{663}}, \quad (5.3)$$

$$R_e = \frac{22}{10 \cdot 0,62} = 3,54 \text{ Ом.}$$

Визначаємо опір розтіканню струму горизонтальних електродів по формулі

$$R_{z.e} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \ln \left( \frac{2 \cdot L^2}{b \cdot h} \right), \quad (5.4)$$

де  $L$  – довжина горизонтального електрода, м;

$b$  – товщина горизонтального електрода, м;

$h$  – глибина закладання горизонтального електрода, м.

Приймаємо як горизонтальні електроди сталеві смуги довжиною  $L = 45$  м, товщиною  $b = 0,004$  м, глибина закладання смуг  $h = 0,5$  м.

$$R_{z.e} = \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 45} \cdot \ln \left( \frac{2 \cdot 45^2}{0,004 \cdot 0,5} \right) = 5,1 \text{ Ом.}$$

Визначаємо розрахунковий опір розтіканню струму горизонтальних електродів з урахуванням коефіцієнта використання  $K_{6ze}$  горизонтальних сполучних електродів у ряді з вертикальних електродів,  $K_{6ze} = 0,62$ , по формулі

$$R_z = \frac{R_{z.e}}{K_{6ze}}, \quad (5.5)$$

$$R_z = \frac{5,1}{0,62} = 8,28 \text{ Ом.}$$

Зробимо перевірку розрахованого заземлюючого пристрою. При цьому опір розтіканню заземлювачів у ряді повинен задовольняти умові

$$R_{3,p} \leq R_3. \quad (5.6)$$

Визначаємо опір розтіканню заземлювачів у ряді по формулі

$$R_{3,p} = \frac{R_e \cdot R_z}{R_e + R_z}, \quad (5.7)$$

					ДП 2022 141	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_{з,р} = \frac{3,54 \cdot 8,28}{3,54 + 8,28} = 2,48 \text{ Ом.}$$

Таким чином, опір розтіканню заземлювачів у ряді задовольняє умові (5.6)

$$R_{з,р} = 2,48 \text{ Ом} \leq R_з = 4 \text{ Ом.}$$

Для ділянки лісопиляння виконуємо заземлення з десяти вертикальних стрержневих електродів діаметром 16 мм і довжиною 5 м, з'єднаним між собою сталеву смугою довжиною 45 м і товщиною 4 мм, і розміщаємо уздовж стіни цеху.

Для інших виробничих будівель виконуємо заземлення із трьох вертикальних стрержневих електродів діаметром 16 мм і довжиною 5 м, з'єднаним між собою сталеву смугою довжиною 10 м і товщиною 4 мм. Глибина закладання ряду заземлювачів – 0,5 м.

У виробничих приміщеннях виконується загальний заземлюючий пристрій ГЗШ для електроустановок напругою до 1кВ.

План розташування заземлення представлений на графічному кресленні.

					ДП 2022 141	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 6. РОЗРАХУНОК ПРИСТРОЇВ БЛИСКАВКОЗАХИСТУ

Будівлі й споруди деревопереробного цеху відносяться до III категорії блискавкозахисту.

Блискавкозахист будівель і споруд III категорії виконується за допомогою блискавкоприймачів заземленої металевої сітки, прокладеної під неметалічною покрівлею (металочерепиця). Блискавкоприймальна сітка повинна бути виконана зі сталевих дроту діаметром не менш 6 мм і покладена на покрівлю зверху або під неспалими або важкоспалими утеплювач або гідроізоляцію. Крок ячейки сітки повинен бути не більше 6х6 м. Вузли сітки повинні бути з'єднані зварюванням. Виступаючі над дахом металеві елементи (труби, шахти, вентиляційні пристрої) повинні бути приєднані до блискавкоприймальної сітки. Струмівідводи від блискавкоприймальної сітки повинні бути прокладені до заземлювачів не рідше чим через 25 м по периметру будинку. У всіх можливих випадках заземлювач захисту від прямих ударів блискавки необхідно об'єднати із заземлювачем електроустановок [10].

Вертикальні заземлювачі виконуються зі сталевих стержнів діаметром 16 мм і довжиною 5 м.

Горизонтальні заземлювачі виконуються зі сталевих смуг 40х4 мм. Глибина закладання заземлювачів становить 0,5 м.

Всі з'єднання струмівідводів із заземлювачами виконуються зварюванням.

У місцях приєднання струмівідводів до заземлюючого пристрою приварюється по одному вертикальному заземлювачу, якщо площа будинку до 900 м<sup>2</sup>, більше – по двох вертикальних заземлювача, з'єднаних сталеву смугою [10].

План розташування блискавкозахисту представлений на графічному кресленні.

					ДП 2022 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Йовбак В.В.			<b>Розрахунок пристроїв блискавкозахисту</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Балюта С.М.					63	
Реценз.						ННІП ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-11ск		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.						

## 7. Спецпитання «МЕТОДИ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СПОЖИВАЧІВ ДЕРЕВОПЕРЕРОБНОГО ЦЕХУ»

Електричне устаткування промислових підприємств у процесі експлуатації опиніється під впливом різноманітних факторів: високої вологості, агресивних середовищ, пилу, атмосферних явищ (опадів, гроз, вітру), а також механічного й електричного навантажень. При цьому відбуваються зміни основних властивостей електроізоляційних, провідникових і конструкційних матеріалів електроустановок, що приводять до виникнення коротких замикань, пробоїв ізоляції, механічним пошкодженням, що викликають відключення електроустановок або електромереж, тобто до перерви в подачі електроенергії.

Перерви електропостачання призводять до простою виробництва, зниженню обсягу випуску продукції, збільшенню витрат за рахунок псування основного устаткування, простою робочої сили, збільшення витрати сировини й матеріалів, відновлення зіпсованих електроустановок, тощо. У зв'язку із цим виникає необхідність в об'єктивній оцінці здатності систем електропостачання забезпечити безперебійність роботи й подачі електроенергії при деякому рівні витрат на будівництво й експлуатацію (ремонт й обслуговування). На цій основі ухвалюють рішення щодо вибору способів підвищення безперебійності електропостачання – резервування від різних джерел, збільшення числа й тривалості технічного обслуговування, підвищення його якості й ін [9].

У даному проекті, для підвищення надійності електропостачання споживачів електроенергії деревообробного цеху, розроблені наступні заходи:

1. установка в якості резервного джерела живлення дизель-генератора, для живлення споживачів першої категорії;

					ДП 2022 141			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Йовбак В.В.</i>			<b>Спецпитання «Методи щодо підвищення надійності електропостачання споживачів деревопереробного цеху»</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Балюта С.М.</i>					64	
<i>Реценз.</i>						<i>ННІП ім. акад. І.С.Гулоого ЕЛ-4-11ск</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Балюта С.М.</i>						

2. спорудження двох одноланцюгових ліній ПЛ-10 кВ на залізобетонних опорах із проводом марки СИП-3 замість лінії ПЛ-10 кВ на дерев'яних опорах із проводом марки АС-95/16.

### 7.1. Вибір резервного джерела живлення

Визначальним критерієм при виборі дизель-генератора є сумарна максимальна потужність всіх споживачів електроенергії, які планується заживити від генератора. Потужність дизель-генератора повинна бути не нижче сумарної максимальної потужності всього устаткування, що працює одночасно. Необхідно також враховувати, що найбільш ефективно й економічно дизельні генератори працюють у режимах, близьких до номінальних, що обумовлено особливостями конструкції дизелів, тому значно (більш ніж на 30 %) завищувати потужність дизель-генератора щодо сумарної потужності електроустаткування не варто – це підвищить вартість вироблюваної електроенергії й може збільшити ймовірність відмови дизель-генератора [9].

Таблиця 7.1

Сумарна потужність споживачів I категорії

Найменування споживача	Сумарна активна потужність $P_{\Sigma}$ , кВт	Сумарна реактивна потужність $Q_{\Sigma}$ , кВАр	Сумарна повна потужність $S_{\Sigma}$ , кВА	Розрахунковий струм $I_p$ , А
1. Котельня	459	345	575	874,41
2. Аварійне, евакуаційне, чергове освітлення	27	13	30	45,5
3. Пожежно-охоронна сигналізація	1,8	0,864	2	3,04
4. Насосна пожежогасіння	15,93	9,86	18,75	28,52
Разом:	504	368	625,5	

Другий визначальний критерій – рід струму, вироблюваний генератором [9].

Третій критерій при виборі дизель-генератора – економічність й ємність паливного бака. Зазвичай економічність визначається годинною витратою палива

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





Отже, наявного запасу палива вистачить на 60 годин роботи двигуна, що відповідає необхідним умовам.

## **7.2. Заміна повітряної лінії електропередачі 10 кВ із використанням захищених проводів і залізобетонних опор**

### **7.2.1. Системи захищених проводів і кабелів для ПЛ 6-20 кВ**

На сьогоднішній день у якості найбільш перспективної й прогресивної альтернативи неізолюваним проводам для ПЛ 6-20 кВ можна розглядати наступні варіанти:

- захищені проводи;
- силові кабелі для ПЛ 6-20 кВ;
- універсальні кабелі.

Захищені проводи (марки СИП-3, SАХ, SАХ-В) являють собою одножильний багатопроволочний провідник, покритий захисною оболонкою. Провідник виготовляється з алюмінієвого сплаву, захисний шар зі світлостабілізованого зшитого поліетилену. Провід може виготовлятися з водонабухаючим шаром під захисною оболонкою для захисту алюмінієвої жили від атмосферної вологи [19].

Силовий кабель для повітряних ліній електропередачі напругою 6-20 кВ (марка SАХКА-В) являє собою жгут із однофазних силових кабелів, скручених навколо несучого тросу. Струмopровідні жили виконані з ущільненого алюмінію, несучий трос зі сталі. Кабелі мають поздовжній і поперечний захист від проникнення вологи.

Універсальний кабель (марка MULTIWISKI) складається із трьох однофазних скручених кабелів. Призначений для монтажу на опорах ПЛ 6-20 кВ, для прокладки в землі у вигляді підземної кабельної лінії, а також для прокладки по дну штучних водойм і природних водних перешкод у вигляді підводної кабельної лінії.

Силові кабелі для ПЛ 6-20 кВ й універсальні кабелі є менш розповсюдженими на практиці, їхнє застосування доцільно в окремих випадках при підвищених технічних й (або) екологічних вимогах до ліній електропередачі в конкретних умовах.

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

ДП 2022 141



Проводи SAX-W мають в конструкції водонабухаючий шар. Наявність водонабухаючого шару забезпечує самоліквідацію шляхом герметизації дрібних пошкоджень ізоляції, що, у свою чергу, значно підвищує ресурс проводу й збільшує надійність роботи ПЛЗ у цілому.

Провід СИП-3 (SAX) характеризується стійкістю до ультрафіолетового випромінювання, стійкістю до впливу озону, зберігає механічну міцність й електричні параметри при температурах навколишнього середовища від мінус 50 °С до плюс 50 °С, не поширює горіння [19].

#### **7.2.4. Переваги повітряної лінії електропередачі із захищеними проводами**

Повітряні лінії електропередачі 6-20 кВ із захищеними проводами мають ряд переваг у порівнянні із традиційними ПЛ із неізольованими проводами, у тому числі [19]:

1. Висока надійність і безперебійність енергозабезпечення споживачів (виключаються короткі замикання через схрещенням проводів, випадкових перекриттів тощо);

2. Підвищена надійність у зонах інтенсивного ожеледоутворення, менша вага й менша інтенсивність налипання снігу, інею, ожеледі;

3. Зменшення відстаней між проводами на опорах й у прольоті, у тому числі, у місцях перетинань і зближень із іншими ПЛ, а також при їхній спільній підвісці на загальних опорах;

4. Загальне зниження електричних втрат у лініях електропередачі за рахунок зменшення реактивного опору;

5. Забезпечення безперебійної роботи лінії у випадках падіння віток і невеликих дерев на проводи;

6. Скорочення ширини просіки;

7. Значне зниження випадків вандалізму й злочинства. Захищені проводи не придатні для вторинної переробки з метою одержання кольорового металу;

8. Значно знижується можливість виникнення пожеж;

9. Значне скорочення експлуатаційних витрат за рахунок зменшення обсягів розчищення трас;

										ДП 2022 141	Арк.
											70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

10. Скорочення загальних експлуатаційних витрат у зв'язку з меншою пошкоджуваністю ПЛЗ.

### 7.2.5. Кліматичні умови й основні технічні дані проводу марки СИП-3 1x95 мм<sup>2</sup>

Таблиця 7.3

Кліматичні умови й основні технічні дані проводу марки СИП-3 1x95мм<sup>2</sup>

Найменування параметру	Значення параметру
Кліматичні умови	
Вітровий район	III
Район ожеледності	II
Нижча температура, °С	-40
Вища температура, °С	40
Температура ожеледоутворення, °С	-5
Середньорічна температура, °С	0
Швидкість вітру, м/с	32
Механічні характеристики проводу	
Номінальний зовнішній діаметр проводу, мм	16,0
Розрахункова маса 1 км проводу, кг	383
Механічні характеристики струмопровідної жили	
Число дротів у жилі, шт	7
Номінальний зовнішній діаметр жили, мм	11,3
Розривне навантаження жили, кН, не менш	27,9
Фізико-механічні характеристики проводу	
Модуль пружності, $\times 10^4$ Н/мм <sup>2</sup>	6,3
Температурний коефіцієнт лінійного подовження, $\times 10^{-6}$ град <sup>-1</sup>	23,0
Межа міцності при розтяганні $\sigma_p$ , Н/мм <sup>2</sup>	295

### 7.2.6. Вибір типу опор

Вибір типу опор для захищеного проводу СИП-3 зробимо по типовому проекті 27.002 розробленому філією ВАТ «НТЦ електроенергетики» – РОСЭП [20].

У проекті шифр 27.002 розроблені одноланцюгові залізобетонні опори на стійках СВ105, СВ110, 3112 ПЛ-10 кв із захищеними проводами СИП-3 перерізом 50,70,95 й 120 мм<sup>2</sup> для застосування в I-IV районах по ожеледі й вітру.

Проміжні опори розроблені у вигляді одностійкових вільностоящих конструкцій з горизонтальним розташуванням проводів в оголовку, закріпленому на вершині стійки за допомогою болтів.

					ДП 2022 141	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Опори анкерного типу, що мають горизонтальне розташування проводів, прийняті підкісної конструкції, що дозволяє виконувати їхню зборку й установку в пробурені котловани укрупненими монтажними блоками.

Закріплення в ґрунтах проміжних опор, як правило, виконується без ригелів.

Закріплення опор анкерного типу виконується відповідно до проекту без установки в підставі анкерних пристроїв або з анкерними плитами або ригелями.

Відповідно до кліматичних умов і параметрам проводу СИП-3 вибираємо одноланцюгову залізобетонну проміжну опору типу П20-1Н на стійці СВ105-5, одноланцюгову залізобетонну анкерну (кінцеву) опору типу А20-1Н на стійці СВ105-5; для переходу ПЛ через дорогу й при повороті кута вибираємо одноланцюгові залізобетонні опори: проміжну типу П20-3Н на стійці СВ110-5 і кутову типу УП20-3Н на стійці СВ110-5.

Таблиця 7.4

Розрахункові прольоти для залізобетонних опор ПЛ-10 кВ

Найменування параметру	Тип опори й стійки			
	П20-1Н, СВ105-5	А20-1Н, СВ105-5	П20-3Н, СВ110-5	УП20-3Н, СВ110-5
Габаритні прольоти для населеної місцевості $l_1$ , м	75	55	85	55
Вітрові прольоти для населеної місцевості $l_2$ , м	82	-	75	-

### 7.2.7. Лінійна арматура для повітряної лінії 10 кВ

Для кріплення захищених проводів до траверс й інших металоконструкцій опор, для з'єднання проводів між собою передбачено використання арматур компанії НИЛЕД-ТД [19].

У номенклатурі лінійних арматур представлені наступні елементи:

- ізолятори й спіральні в'язання;
- натяжні й підтримуючі затискачі;
- з'єднувальні й відгалуджувані затискачі;
- пристрої захисту від птахів і віток, маркерів проводів і т.д.

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

ДП 2022 141



кріплення. Таким чином, клинові затискачі не вимагають зняття захисного ізоляційного шару із проводу при анкерному кріпленні в натяжному затискачі. Тому застосування клинових натяжних затискачів є більше кращим як з погляду спрощення монтажу, так і з погляду експлуатаційної довговічності ПЛЗ.

Натяжні затискачі типу SO85, SO105, SO146 у своїй конструкції не мають елементів, призначених для запобігання захисного шару проводу в місці кріплення, тому при монтажі ці затискачі вимагають зняття захисного шару із проводу. Застосування таких затискачів є менш переважним, чим клинових натяжних затискачів з погляду експлуатаційної надійності ПЛЗ 6-10 кВ і зручності монтажу [19].

Вибрана лінійна арматура для ПЛ-10 кВ зазначена в табл. 7.5.

Таблиця 7.5

Лінійна арматура для ПЛ-10 кВ

Найменування лінійних арматур	Кількість лінійних арматур для опор типу			
	П20-1Н	А20-1Н	П20-3Н	УП20-3Н
Штирковий ізолятор ІF20	18	4	12	6
Ковпачок К9	18	4	12	6
Підвісний ізолятор SML 70/20М	-	12	-	-
Спиральне в'язання типу СВ70	36	8	24	12
Плащечний затискач CD35	6	12	4	2
Анкерний затискач PAZ 2	-	24	-	-

### 7.2.8. Лінійні роз'єднувачі для повітряної лінії 10 кВ

Для створення видимого розриву на ПЛЗ 10 кВ можливе застосування лінійного роз'єднувача типу РЛНД1-10/400. Роз'єднувач являє собою комплект із трьох однофазних роз'єднувачів. Кожен однофазний роз'єднувач складається з натяжного полімерного ізолятора й змонтованих на ньому рухливого й нерухомого контактів.

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



З урахуванням характеру місцевості, типів опор і пересічних об'єктів наведений проліт для даної анкерної ділянки складе  $l_{np} = 50$  м. Монтажна таблиця для вищенаведених умов [19]:

Таблиця 7.7

Монтажна таблиця для ПЛ-10 кВ

Температура, t, °С	Напруження в проводі, σ, МПа	Стріла прогину, f, м
-40	72,5	0,2
-20	49,2	0,3
-15	39,1	0,4
0	30,6	0,5
15	22,1	0,7
20	17,3	0,8
40	15,2	1,0

## 8. Охорона праці

### 8.1. Обґрунтування рішення щодо розміщення електротехнічного обладнання

Вибір типу, числа й схем живлення трансформаторів підстанції обумовлений величиною й характером електричних навантажень, розміщенням навантажень на генеральному плані підприємства, а також виробничими, архітектурно-будівельними й експлуатаційними вимогами, враховуючи конфігурацію виробничого приміщення, розташування технологічного устаткування, умови навколишнього середовища, умови охолодження, вимоги пожежної й електричної безпеки й типи застосовуваного обладнання.

У даному проекті для забезпечення живлення електроспоживачів деревопереробного цеху прийнята до установки комплектна трансформаторна підстанція зовнішнього виконання (КТПН) позначена на графічному кресленні 1.

Комплектною трансформаторною підстанцією називається підстанція, що складається із трансформаторів і блоків (КРУ або КРУН і інших елементів), що поставляються в зібраному або повністю підготовленому для складання вигляді [1].

Сучасні КТПН складаються з наступних основних вузлів: шаф вводу високої напруги; трансформаторів; розподільчого пристрою низької напруги.

Згідно п. 4.2.13 [1] електроустаткування, струмоведучі частини, ізолятори, кріплення, огороження, несучі конструкції, ізоляційні й інші відстані повинні бути вибрані й установлені так, щоб:

					ДП 2022 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Йовбак В.В.			<b>Охорона праці</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Сірик А.О.					77	
Реценз.						ННІП ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-11ск		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.						











трансформатора застосовують систему, при якій металеві корпуси приймачів електроенергії за допомогою захисних провідників малого опору навмисно з'єднані із заземленою нейтраллю. Наявність такого з'єднання перетворює замикання струмоведучих частин на корпус електроустановок у КЗ, внаслідок чого відбувається відключення аварійної ділянки автоматичним вимикачем або запобіжником. Ця система зветься зануленням. Основне призначення занулення полягає в забезпеченні автоматичного відключення ділянки мережі, на якій відбулося замикання провідників, що перебувають під напругою, на металеві частини електроустановок [2].

Захисні заземлення або занулення повинні забезпечувати в установках із заземленою нейтраллю – автоматичне відключення пошкоджених ділянок мережі.

У випадках, коли здійснення безпеки за допомогою заземлення або занулення малоефективні й викликає значні труднощі, успішно застосовують системи захисного відключення, що забезпечують автоматичне відключення установки або її частин із часом 0,05-0,2 с при однофазних замиканнях на землю або на корпус устаткування, а також при дотику людини до частин, що перебувають під напругою. Для забезпечення електробезпеки все більше поширення набуває застосування подвійної ізоляції, тобто виконання корпусів електроустаткування й апаратів з ізолюючого матеріалу або з матеріалу з додатковими ізолюючими вставками між корпусами і частинами, які можуть перебувати під напругою при пошкодженні ізоляції струмоведучих частин. Подвійною ізоляцією називається сукупність робочої й захисної (додаткової) ізоляції, при якій доступні дотику частини електроустаткування не набувають небезпечної напруги при пошкодженні тільки робочої або тільки захисної ізоляції.

Для захисту людей від ураження електричним струмом при пошкодженні ізоляції має бути застосоване: заземлення, занулення, захисне відключення, подвійна ізоляція або вирівнювання потенціалів.

Заземленню й зануленню підлягають корпуси електричних машин, трансформаторів, світильників; приводи електричних апаратів; вторинні обмотки вимірювальних трансформаторів; каркаси розподільних щитів, щитів

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

керування; металеві конструкції розподільчих пристроїв, кабельних конструкцій, броня кабелів, сталеві труби електропроводки; електроустаткування, розташоване на частинах, що рухаються, верстатів, машин, механізмів [2].

### 8.3. Визначення напруги дотику

При проектуванні заземлюючих пристроїв виходять із допустимих значень напруги дотику, що визначається як максимально допустиме значення напруги, що може бути прикладене до людини протягом певного часу [1].

Розрахункове значення напруги дотику [24]

$$U_{\text{пр}} = I_{\text{к}}^{(1)} \cdot R_{\text{з}} \cdot K_{\text{пр}}, \quad (8.1)$$

де  $I_{\text{к}}^{(1)}$  – струм однофазного замикання на землю в розподільчому пристрої напруги 10 кВ,  $I_{\text{к}}^{(1)} = 121 \text{ А}$ ;

$R_{\text{з}}$  – опір заземлюючого контуру,  $R_{\text{з}} = 2,4 \text{ Ом}$ ;

$K_{\text{пр}}$  – коефіцієнт дотику.

Коефіцієнт дотику визначається по формулі [24]

$$K_{\text{пр}} = M \cdot \beta \cdot \left( \frac{a \cdot \sqrt{S}}{l_{\text{в}} \cdot l_{\text{г}}} \right)^{0,45}, \quad (8.2)$$

де  $l_{\text{в}}$  – довжина вертикального електрода,  $l_{\text{в}} = 5 \text{ м}$ ;

$l_{\text{г}}$  – довжина горизонтальних заземлителів,  $l_{\text{г}} = 45 \text{ м}$ ;

$S$  – площа заземлюючого контуру,  $S = 225 \text{ м}^2$ ;

$a$  – відстань між вертикальними електродами,  $a = 5 \text{ м}$ ;

$M$  – коефіцієнт, значення якого визначається з [24],  $M = 0,6$ ;

$\beta$  – коефіцієнт, що характеризує умови контакту людини із землею.

Коефіцієнт, що характеризує умови контакту людини із землею визначається по формулі [24]

										ДП 2022 141	Арк.
											84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

$$\beta = \frac{R_{\text{ч}}}{R_{\text{ч}} + R_{\text{с}}}, \quad (8.3)$$

де  $R_{\text{ч}}$  – опір тіла людини,  $R_{\text{ч}} = 1000 \text{ Ом}$ ;

$R_{\text{с}}$  – опір розтікання струму зі стопою людини.

Опір розтікання струму стопою людини визначається по формулі

$$R_{\text{с}} = 1,5 \cdot \rho_{\text{з}}, \quad (8.4)$$

де  $\rho_{\text{з}}$  – питомий опір ґрунту,  $\rho_{\text{з}} = 100, \text{ Ом} \cdot \text{ м}$ .

$$R_{\text{с}} = 1,5 \cdot 100 = 150 \text{ Ом}.$$

Коефіцієнт, що характеризує умови контакту людини із землею визначаємо по формулі (8.3)

$$\beta = \frac{1000}{1000 + 150} = 0,87.$$

Коефіцієнт дотику визначаємо по формулі (8.2)

$$K_{\text{пр}} = 0,6 \cdot 0,87 \cdot \left( \frac{5 \cdot \sqrt{225}}{5 \cdot 45} \right)^{0,45} = 0,312.$$

Розрахункове значення напруги дотику визначається по формулі (8.1)

$$U_{\text{пр}} = 121 \cdot 2,4 \cdot 0,312 = 90,6 \text{ В}.$$

Згідно [25] гранично допустимі значення напруги дотику при аварійному режимі виробничих електроустановок із частотою струму 50 Гц, напругою вище 1000 В, із глухим заземленням нейтралі не повинні перевищувати значення  $U_{\text{пр.доп.}} = 100 \text{ В}$ . Повинна виконуватися умова

										ДП 2022 141	Арк.
											85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

$$U_{\text{пр.доп.}} \geq U_{\text{пр}} \quad (8.5)$$

$$U_{\text{пр.доп.}} = 100\text{В} \geq U_{\text{пр}} = 90,6\text{В}$$

Отже, умова виконується й забезпечується необхідне значення напруги дотику при аварійному режимі роботи електроустановки.

					ДП 2022 141	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Правила устройства электроустановок (Издание 7): ВНИПИ «Тяжпромэлектропроект» - М.: НЦ ЭНАС, 2009. – 640 с.
2. Федоров, А.А. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: В 2 т. Т. 1. Электроснабжение /Под общ. ред. А.А. Федорова. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 568 с.: ил.
3. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение /НИИСФ. – офиц. изд. – М.: ГУПЦПП, 1996. – 48 с. – (Строительные нормы и правила).
4. Кнорринг, Г.М. Справочная книга для проектирования электрического освещения /Г.М. Кнорринг, И.М. Фадин, В.Н. Сидоров – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Энергоатомиздат, 1992. – 448 с.: ил.
5. Файбисович, Д.Л. Справочник по проектированию электрических сетей /под ред. Д.Л. Файбисовича – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: НЦ ЭНАС, 2006. – 349 с.
6. Пашнин, В.М. Электроснабжение промышленных предприятий: методические указания к курсовому проектированию для студентов специальности «Электроснабжение промышленных предприятий», 1999 – 49 с.
7. Липкин, Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок /Б.Ю. Липкин – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1990. – 366 с.: ил.
8. Пособие к «Указаниям по расчету электрических нагрузок» /НИИСФ - М.: Тяжпромэлектропроект, 1993. – 23 с.
9. Сюсюкин, А.И. Основы электроснабжения предприятий: В 2 ч. Ч1., 1998. – 204 с.
10. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений: РД 34.21.122 – 87 – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 40 с.

					ДП 2022 141		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Йовбак В.В.			Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Балюта С.М.			87		
Реценз.					ННІП ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-11ск <b>Список літератури</b>		
Н. Контр.							
Затверд.		Балюта С.М.					



23. Официальный сайт Министерства Энергетики Российской Федерации [Электронный ресурс] – [www.minenergo.gov.ru](http://www.minenergo.gov.ru)

24. Фоков, К.И. Электрическая часть станций и подстанций: методические указания на выполнение курсового проекта, 1996. – 30с.: ил.

25. ГОСТ 12.1.038 – 82. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжения прикосновения и токов. - М.: Стандартинформ, 2006. – 6с.: ил.

					ДП 2022 141	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		