

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

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

**«До захисту в ЕК»**  
Директор інституту(декан факультету)  
\_\_\_\_\_ (підпис)  
Блаженко С.І.  
(прізвище та ініціали)

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021р.

**«До захисту допущено»**  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ (підпис)  
Балюта С.М.  
(прізвище та ініціали)

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

зі спеціальності 141«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми «Електротехніка та електротехнології»  
на тему: «Реконструкція системи електропостачання заводу безалкогольних напоїв виробничою потужністю 3 млн. пляшок на рік в зв'язку з вводом в дію в цеху № 2 нової лінії розливу та оцінка ефективності застосування частотного електропривода в насосному господарстві підприємства»

Виконав: здобувач 5 курсу, групи ЗЕЛ 5-3

Туранська Тетяна Володимирівна  
(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник Мащенко Олег Анатолійович  
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультанти Сірик А.О.  
(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент Малий В.М.  
(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що в цій кваліфікаційній роботі немає запозичень із праць інших авторів без відповідних посилань.

Здобувач \_\_\_\_\_

(підпис)

Київ - 2021р.

# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім.акад.

І.С.Гулого

Кафедра Електропостачання та енергоменеджменту

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
(код і назва)

Освітньо-професійна програма «Електротехніка та електротехнології»  
(назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри**

“ ” \_\_\_\_\_ 2021 року

## З А В Д А Н Н Я

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Туранська Тетяна Володимирівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Реконструкція СЕП заводу безалкогольних напоїв виробничою потужністю 3 млн.пляшок на рік у зв'язку з вводом в дію в цеху №2 нової лінії розливу та оцінка ефективності застосування частотного електропривода в насосному електрогосподарстві підприємства»

керівник роботи ст.викладач Мащенко Олег Анатолійович,

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від 09.11.2020 року № 934-кв

2. Строк подання здобувачем роботи 25.01.2021р.

3. Вихідні дані до роботи Призначення цеху і його розміри. Перелік споживачів і їх потужність.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Розрахунок навантажень цеху та підприємства

Вибір схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання.

Вибір кількості та потужності трансформаторів.

Розрахунок струмів КЗ

Розрахунок релейного захисту і автоматики

Вибір кількості і потужності силових пунктів. Розрахунок перерізу кабелів.

Вибір автоматичних вимикачів.

Розрахунок електроосвітлення.

5. Перелік графічного матеріалу

1. Генеральний план цеху.

2. Схема електропостачання цеху.

3. Схема релейного захисту і автоматики \_\_\_\_\_

4. Схеми по спецпитанню \_\_\_\_\_

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
ОП	доц.Сірик А.О.		

7. Дата видачі завдання 12.11.2020р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання на дипломний проект	12.11.2020р	
2	Вступ	13.11.2020р	
3	Коротка характеристика електроприймачів цеху	18.11.2020р	
4	Розрахунок ел. навантажень цехових електроприймачів	23.11.2020р	
5	Побудова графіків електричних навантажень цеху	28.11.2020р	
6	Вибір напруги і електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання цеху	05.12.2020р	
7	Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв в низьковольтних мережах	10.12.2020р	
8	Вибір кількості, потужності трансформаторів та місця розташування цехових трансформаторних підстанцій	15.12.2020р	
9	Розрахунок силової мережі цеху	20.12.2020р	
10	Розрахунок струмів короткого замикання та вибір високовольтного та низьковольтного ел. обладнання	25.12.2020р	
11	Релейний захист (РЗА)	02.01.2021р	
12	Розрахунок електроосвітлення цеху №2	06.01.2021р	
13	Визначення ефективності застосування частотного електропривода в насосному господарстві підприємства	10.01.2021р	
14	Охорона праці	17.01.2021р	
15	Список літератури	20.01.2021р	
16	Здача дипломного проекту на перевірку	25.01.2021р	

Здобувач \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Туранська Т.В.

Мащенко О.А.

## Анотація

Туранська Т.В. Реконструкція системи електропостачання заводу безалкогольних напоїв виробничою потужністю 3 млн.пляшок на рік у зв'язку з вводом в дію в цеху №2 нової лінії розливу та оцінка ефективності застосування частотного електропривода в насосному електрогосподарстві підприємства.

Дипломний проект на здобуття ступеня бакалавра за напрямом 141 “ Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”. Національний університет харчових технологій, Київ, 2021. Пояснювальна записка складається зі вступу, сімнадцяти розділів та списку використаної літератури. Загальний обсяг пояснювальної записки становить 100 стор.

Метою роботи є проектування загальної схеми електропостачання, розрахунок електричних навантажень цехових електроприймачів, вибір елементів та розрахунок цехової мережі, розрахунок освітлювальної цеху, ефективність використання частотного електропривода в насосному господарстві підприємства.

У дипломному проекті розроблено: генплан підприємства ,загальна схема електропостачання підприємства, схема релейного захисту і автоматики, схеми з індивідуального питання. Було порівняно економічну складову при використанні частотних перетворювачів.

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ; ВИРОБНИЧИЙ ЦЕХ; ТРАНСФОРМАТОР;  
НАПРУГА; СТРУМ

## Annotation

Turanska TV Reconstruction of the power supply system of the soft drinks plant with a production capacity of 3 million bottles per year in connection with the commissioning of a new bottling line in shop №2 and evaluation of the efficiency of the frequency electric drive in the pumping industry of the enterprise.

Diploma project for a bachelor's degree in 141 "Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". National University of Food Technologies, Kyiv, 2021. The explanatory note consists of an introduction, seventeen chapters and a list of references. The total volume of the explanatory note is 100 pages.

The purpose of the work is to design the general scheme of power supply, calculation of electrical loads of shop electrical receivers, selection of elements and calculation of shop network, calculation of lighting shop, efficiency of frequency drive in pumping industry.

In the diploma project the following is developed: the general plan of the enterprise, the general scheme of power supply of the enterprise, the scheme of relay protection and automation, schemes on an individual question. It was a relatively economical component when using frequency converters.

**ELECTRICITY; PRODUCTION PLANT; TRANSFORMER; VOLTAGE;  
CURRENT**

## ЗМІСТ

ВСТУП		8
1.	ОБГРУНТУВАННЯ РЕКОНСТРУКЦІЇ	9
2.	РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	11
2.1.	Вихідні дані для лінії розливу №2	12
2.2.	Визначення розрахункової потужності електроприймачів	13
2.3.	Визначення розрахункової потужності підгрупи електроприймачів, що працюють із змінним режимом	13
2.4.	Визначення розрахункової потужності підгрупи електроприймачів, що працюють з постійним режимом	16
2.5.	Визначення розрахункової потужності всієї групи електроприймачів	18
3.	ПОБУДОВА КАРТОГРАМИ НАВАНТАЖЕННЯ	20
4.	ВИЗНАЧЕННЯ НАВАНТАЖЕННЯ ПІДПРИЄМСТВА НА РІВНІ ЦРП	23
5.	ВИБІР НАПРУГИ РОЗПОДІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ	25
6.	ВИБІР СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	
6.1.	Електропостачання	26
6.2.	Схема розподілу електроенергії	27
6.3.	Компенсація реактивної потужності	27
6.4.	Облік електроенергії й електричні виміри	27
6.5.	Силове електроустаткування	28
7.	ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ	
7.1.	Техніко-економічне обґрунтування	29
7.2.	Вибір трансформаторів на ТП	30
7.3.	Розрахунок першого варіанту ТМЗ 1000/10	32
7.4.	Розрахунок другого варіанту ТМЗ 630/10	33
8.	ВИБІР ПЕРЕРІЗУ ВИСОКОВОЛЬТНИХ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ	
8.1.	Вибір живлячих КЛ до ЦРП	37

Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	<i>ДП 2021 141</i>			
<i>Розробив</i>		<i>Туранська Т.В.</i>			<i>Зміст</i>	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Мащенко О.А.</i>					6	100
<i>Затвердив</i>		<i>Балюта С.М.</i>				<i>ННІТІ ім.акад.І.С.Гулоого ЗЕЛ-5-3</i>		

8.2. Вибір КЛ, що живлять цехові ТП	38
9. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ	40
9.1. Коротке замикання в точці К1 на шинах КРП 10 кВ	42
9.2 Коротке замикання в точці К2 на шинах ВН ТП1 (цех № 2)	42
9.3 Коротке замикання в точці К3 на шинах ВН ТП2	43
9.4 Коротке замикання в точці К4 на шинах НН ТП (цех розливу №2)	44
10. ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНОЇ ПОТУЖНОСТІ КОМПЕНСУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ	46
11. ВИБІР ОБЛАДНАННЯ	48
12. ВИБІР ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ СТРУМУ	51
13. РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТА АВТОМАТИКА ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАВОДУ	55
14. РОЗРАХУНОК ЦЕХОВОЇ СИЛИ МЕРЕЖІ	61
15. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРООСВІТЛЕННЯ ЛІНІЇ РОЗЛИВУ №2	66
16. ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ	70
17. ОХОРОНА ПРАЦІ	87
18. СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	100

## ВСТУП

В Україні, особливо великих містах, зростає потреба споживачів з точки зору забезпечення виробництва якісною продукцією. Промисловість потрібно забезпечити засобами виробництва, а населення - товарами. Сучасна промисловість повинна відповідати запитам суспільства, що породжують все більш нові, складні і масштабні види послуг та товарів. Особливе місце в діяльності підприємства належить конкурентоспроможності. Необхідно постійно вдосконалюватись щоб відповідати вимогам цільових груп споживачів або обраного ринку, а для цього підвищувати якість продукції за рахунок використання усіх досягнень науково-технічного прогресу, вводити в дію нові економічні технології.

Для раціонального використання економічних та трудових ресурсів, досягнення високих і стабільних темпів росту об'єму виробництва необхідно проводити технічне та технологічне переобладнання виробничого процесу. Велику роль відіграє раціональне та економне використання енергетичних ресурсів.

На підприємствах виникає потреба в енергозбереженні шляхом модернізації застарілого обладнання, що знизить капітальні вкладення. А для цього необхідно запроваджувати автоматизовані системи обліку електроенергії і управління електроспоживачами. Це дасть можливість здійснити технічний облік використаної електроенергії, що в свою чергу створить умови для правильного використання і можливості її економії. Економічний ефект від запровадження системи обліку електроенергії буде отримано шляхом зниження споживання витрат на енергоресурси, мінімізація втрат та строків окупності, за рахунок упорядкованої роботи електрообладнання.

Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	ДП 2021 141			
Розробив		Туранська Т.В.			Вступ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Мащенко О.А.					8	100
Затвердив		Балюта С.М.				ННІТІ ім.акад.І.С.Гулого ЗЕЛ-5-3		

## 1. Обґрунтування реконструкції

У зв'язку зі збільшенням обсягів споживання та розширенням асортименту, на діючому підприємстві з вироблення безалкогольних напоїв «Аqua Vita», виробничою потужністю 3 млн. пляшок на рік, виникла необхідність розширення існуючих окремих цехів з метою створення нових виробничих потужностей. Було прийняте рішення про реконструкцію системи електропостачання заводу та введ в дію в цеху №2 нової лінії розливу для забезпечення приросту продукції, підвищення її якості, зростання продуктивності праці, покращання умов і організації праці, зниження собівартості продукції і поліпшення техніко-економічних показників роботи підприємства.

За ступінню надійності електропостачання більшість електроприймачів лінії розливу №2 відносяться до споживачів III категорії.

Основними споживачами електроенергії є електродвигуни з короткозамкнутим ротором технологічного і сантехнічного устаткування, компресорної станції і насосів для підготовки води, нагрівальні елементи термовидувної машини й електроосвітлення.

Розрахунок електричних навантажень виконано по методу коефіцієнта використання і занесено у таблицю.

Розподіл електроенергії прийнятий по радіальних лініях від щита 0,4кв проектованої 2КТП-1000. Як розподільні шафи прийняті навісні шафи типу ПР11, ПР22.

Усе технологічне устаткування поставляється з пусковою і захисною апаратурою, а для систем сантехвентиляції застосовані магнітні пускачі з вбудованими кнопками «Пуск» і «Стоп» типу ПМА і щити керування ЩУ5000. Проектом передбачається відключення

Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	ДП 2021 141			
Розробив		Туранська Т.В.			Обґрунтування реконструкції	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Мащенко О.А.					9	100
Затвердив		Балюта С.М.				ННІТІ ім.акад.І.С.Гулоого ЗЕЛ-5-3		

сантехвентиляції на випадок виникнення пожежі. Для компенсації реактивної потужності використовуються комплектні конденсаторні установки типу УКРМ потужностями 840кВАр і 280 кВАр, встановлювані в приміщенні КТП на кожен секцію РУ-0,4кв.

Усі живлячі і розподільні мережі виконуються кабелями з алюмінієвими жилами марки АПВВ. Кабелі прокладаються в металевих коробах, що кріпляться до балок або плит перекриття. Живильні кабелі до компресорної установки прокладаються відкрито по існуючих конструкціях по зовнішніх стінах корпусу.

Для захисту від враження електричним струмом проектом передбачається занулення всіх металевих не струмоведучих частин технологічного й електротехнічного устаткування, передаючих конвеєрних ліній і трубопроводів, що можуть опинитися під напругою в результаті пошкодження ізоляції. У якості занулюючих провідників використовуються нульові захисні провідники мережі. Зануленню, також, підлягають конструкції і короби електропроводки, шляхом приєднання з двох кінців до нульових захисних провідників мережі.

				<i>ДП 2021 141</i>	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
						<i>10</i>	<i>100</i>

## 2. Розрахунок електричних навантажень

Електричні навантаження - це вихідні дані для вирішення технічних та економічних питань, які виникають при проектуванні електричного постачання підприємства.

По ступені надійності електропостачання електроприймачі лінії розливу №2 відносяться до споживачів III та II категорій.

Споживачами електроенергії є асинхронні електродвигуни технологічного та сантехнічного обладнання, а також лампи розжарювання та люмінесцентні лампи електроосвітлення. Розподіл електроенергії по заводу здійснюється на напрузі 10 кВ.

Напругу 380 В прийнято для електродвигунів, 220 В - для світильників робочого та аварійного освітлення, 36 В - для ремонтного освітлення. Живлення силових та освітлювальних електроприймачів здійснюється від різних секцій трансформаторної підстанції.

					<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
				<i>ДП 2021 141</i>		<i>11</i>	<i>100</i>

## 2.1 Вихідні дані для лінії розливу №2

Таблиця 1

№ з/п	Обладнання	n	$\Sigma P_{\text{НОМ}}$ , кВт	$\frac{P_{\text{НОМ}}^{\text{min}}}{P_{\text{НОМ}}^{\text{max}}}$
1	Вентилятори	18	130,4	30/1,5
2	Компресор	2	182	160/22
3	Видувний агрегат	2	133	110/23
4	Кондиціонер	2	5,8	2,9/2,9
5	Насос	8	30,6	11/0,6
6	Засувка з електричним приводом	2	0,72	0,36/0,36
7	Щит КИПиА	3	1,45	0,7/0,25
8	Стрічковий конвеєр	8	22,7	5,5/2,2
9	Повітряна завіса	2	11	5,5/5,5
			515,37	

Площа цеха 1840 м<sup>2</sup>, відстань до джерела живлення 2 км. Число годин використання максимуму 4480.

## 2.2. Визначення розрахункової потужності електроприймачів

Розрахункова потужність – це така потужність, при якій термін служби елементів системи електропостачання дорівнює розрахунковому.

За режимом роботи поділяють групи електроприймачів на підгрупи:

- а) електроприймачі, що працюють із сталим режимом ;
- б) електроприймачі, що працюють зі змінним режимом;

Визначаємо розрахункову потужність для кожної з цих підгруп.

## 2.3. Визначення розрахункової потужності підгрупи електроприймачів, що працюють зі змінним режимом

Із заданих в табл.1 електроприймачів до цієї групи відносяться всі електроприймачі, окрім стрічних конвеєрів.

Сумарна номінальна потужність для *вентиляторів*:

$$P_{\Sigma B} = 130,4 \text{ кВт}$$

Використовуючи довідникові дані:

- для вентиляторів:

$$K_B = 0,7 \quad \cos(\varphi) = 0,75 \quad \operatorname{tg}(\varphi) = 0,88$$

Визначаємо середню потужність за максимально завантаженою зміну:

$$P_{\text{смВ}} = P_{\Sigma B} \cdot K_B = 130,4 \cdot 0,7 = 91,3 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{смВ}} = P_{\text{смВ}} \cdot \operatorname{tg}(\varphi) = 91,3 \cdot 0,88 = 80,3 \text{ кВар}$$

Сумарна номінальна потужність для *компресорів*:

$$P_{\Sigma K} = 182 \text{ кВт}$$

Використовуючи довідникові дані:

- для компресорів:

$$K_B = 0,65 \quad \cos(\varphi) = 0,8 \quad \operatorname{tg}(\varphi) = 0,75$$

Визначаємо середню потужність за максимально завантаженою зміну:

$$P_{\text{смК}} = P_{\Sigma K} \cdot K_B = 182 \cdot 0,65 = 118,3 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{смК}} = P_{\text{смК}} \cdot \operatorname{tg}(\varphi) = 118,3 \cdot 0,75 = 88,7 \text{ кВар}$$

				ДП 2021 141	Літ.	Аркуш	Аркушів
						13	100

Сумарна номінальна потужність для *видувних агрегатів*:

$$P_{\Sigma BA} = 133 \text{ кВт}$$

Використовуючи довідникові дані:

- для видувних агрегатів:

$$K_B = 0,7 \quad \cos(\varphi) = 0,75 \quad \operatorname{tg}(\varphi) = 0,88$$

Визначаємо середню потужність за максимально завантаженою зміну:

$$P_{\text{см}BA} = P_{\Sigma BA} \cdot K_B = 133 \cdot 0,7 = 91,7 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{см}BA} = P_{\text{см}BA} \cdot \operatorname{tg}(\varphi) = 91,7 \cdot 0,88 = 80,7 \text{ кВар}$$

Сумарна номінальна потужність для *кондиціонерів*:

$$P_{\Sigma КД} = 5,8 \text{ кВт}$$

Використовуючи довідникові дані:

- для кондиціонерів:

$$K_B = 0,65 \quad \cos(\varphi) = 0,7 \quad \operatorname{tg}(\varphi) = 1,02$$

Визначаємо середню потужність за максимально завантаженою зміну:

$$P_{\text{см}КД} = P_{\Sigma КД} \cdot K_B = 5,8 \cdot 0,65 = 3,8 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{см}КД} = P_{\text{см}КД} \cdot \operatorname{tg}(\varphi) = 3,8 \cdot 1,02 = 3,9 \text{ кВар}$$

Сумарна номінальна потужність для *насосів*:

$$P_{\Sigma Нс} = 30,6 \text{ кВт}$$

Використовуючи довідникові дані:

- для насосів:

$$K_B = 0,75 \quad \cos(\varphi) = 0,8 \quad \operatorname{tg}(\varphi) = 0,75$$

Визначаємо середню потужність за максимально завантаженою зміну:

$$P_{\text{см}Нс} = P_{\Sigma Нс} \cdot K_B = 30,6 \cdot 0,75 = 23 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{см}Нс} = P_{\text{см}Нс} \cdot \operatorname{tg}(\varphi) = 23 \cdot 0,75 = 17,3 \text{ кВар}$$

Сумарна номінальна потужність для *засувок з електричним приводом*:

$$P_{\Sigma ЗЕП} = 0,72 \text{ кВт}$$

Використовуючи довідникові дані:

- для засувок з електричним приводом:

$$K_B = 0,4 \quad \cos(\varphi) = 0,6 \quad \operatorname{tg}(\varphi) = 1,33$$

				ДП 2021 141	Літ.	Аркуш	Аркушів
						14	100

Визначаємо середню потужність за максимально завантаженою зміну:

$$P_{\text{смЗЕП}} = P_{\text{ΣЗЕП}} \cdot K_{\text{в}} = 0,72 \cdot 0,4 = 0,29 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{смЗЕП}} = P_{\text{смЗЕП}} \cdot \text{tg}(\varphi) = 0,29 \cdot 1,33 = 0,39 \text{ кВар}$$

Сумарна номінальна потужність для *щита КИПиА*:

$$P_{\text{ΣщКИПиА}} = 1,45 \text{ кВт}$$

Використовуючи довідникові дані:

- щита КИПиА:

$$K_{\text{в}} = 0,7 \quad \text{COS}(\varphi) = 0,8 \quad \text{tg}(\varphi) = 0,75$$

Визначаємо середню потужність за максимально завантаженою зміну:

$$P_{\text{см щКИПиА}} = P_{\text{Σ щКИПиА}} \cdot K_{\text{в}} = 1,45 \cdot 0,7 = 1,02 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{см щКИПиА}} = P_{\text{см щКИПиА}} \cdot \text{tg}(\varphi) = 1,02 \cdot 0,75 = 0,77 \text{ кВар}$$

Сумарна номінальна потужність для *повітряних завіс*:

$$P_{\text{ΣПЗ}} = 11 \text{ кВт}$$

Використовуючи довідникові дані:

- повітряних завіс:

$$K_{\text{в}} = 0,7 \quad \text{COS}(\varphi) = 0,75 \quad \text{tg}(\varphi) = 0,88$$

Визначаємо середню потужність за максимально завантаженою зміну:

$$P_{\text{смПЗ}} = P_{\text{ΣПЗ}} \cdot K_{\text{в}} = 11 \cdot 0,7 = 7,7 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{смПЗ}} = P_{\text{смПЗ}} \cdot \text{tg}(\varphi) = 7,7 \cdot 0,88 = 6,8 \text{ кВар}$$

Знаходимо сумарну номінальну потужність електроприймачів, що працюють за змінним графіком навантаження:

$$P_{\text{Σном}} = \sum_{i=1}^8 P_{\text{ном}i}^{\sim} \text{ кВт},$$

$$P_{\text{Σном}} = 130,4 + 182 + 131 + 5,84 + 30,56 + 0,72 + 1,45 + 11 = 493 \text{ кВт}$$

Сумарна середня активна потужність електроприймачів, що працюють за змінним графіком навантаження:

$$P_{\text{Σсм}} = \sum P_{\text{см}} = 91,3 + 118,3 + 91,7 + 3,8 + 23 + 0,29 + 1,02 + 7,7 = 337 \text{ кВт}$$

Сумарна середня реактивна потужність електроприймачів, що працюють за змінним графіком навантаження:

$$Q_{\text{Σсм}} = \sum Q_{\text{см}} = 80,3 + 88,7 + 80,7 + 3,9 + 17,3 + 0,39 + 0,77 + 6,8 = 279 \text{ кВт}$$

					Літ.	Аркуш	Аркушів
				ДП 2021 141		15	100

Груповий коефіцієнт використання електроприймачів зі змінним графіком

навантаження: 
$$K_B = \frac{\sum P_{\Sigma CM}}{\sum P_{НОМ}} = \frac{337}{493} = 0,7$$

Коефіцієнт потужності:

$$\cos\varphi = \cos(\arctg Q_{\Sigma CM} / P_{\Sigma CM}),$$

$$\cos\varphi = \cos(\arctg 279 / 337) = 0,76.$$

Визначаємо  $n_e$  через  $m$ :

$$m = \frac{P_{НОМ \max}}{P_{НОМ \min}} = \frac{160}{0,25} = 640$$

$P_{НОМ \max}$  – потужність найбільшого приймача;

$P_{НОМ \min}$  – потужність найменшого приймача.

Так як  $m > 3$ , а  $K_B \geq 0,2$ , тоді:

$$n_e = \frac{2 \cdot \sum_1^n P_{НОМ i}}{P_{НОМ \max}} = \frac{2 \cdot 493}{160} = 6$$

З таблиці 2.1 [1] стор.30 знаходимо коефіцієнти максимуму:

$$K_M(0,7) = 1,29$$

$$P_{розр} = P_{\Sigma CM} \cdot K_M = (337 \cdot 1,29) = 435 \text{ кВт}$$

Так як  $n_e < 10$ , то реактивна складова рівна

$$Q_{розр} = 1,1 \cdot Q_{\Sigma CM} = 1,1 \cdot 279 = 310 \text{ кВАр}$$

Повна розрахункова потужність:

$$S_{розр} = \sqrt{P_{розр}^2 + Q_{розр}^2} = \sqrt{435^2 + 310^2} = 534 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

Результати вносимо в табл.2

## 2.4 Визначення розрахункової потужності підгрупи електроприймачів, що працюють із постійним режимом

Знаходимо розрахункову потужність електроприймачів, що працюють із **постійним** графіком навантаження:

Сумарна номінальна потужність для *стрічкових конвеєрів*:

$$P_{\Sigma СК} = 22,7 \text{ кВт}$$

для стрічкових конвеєрів:

$$K_B = 0,75 \quad \cos(\varphi) = 0,8 \quad \text{tg}(\varphi) = 0,75$$

				ДП 2021 141	Літ.	Аркуш	Аркушів
						16	100

Визначаємо середню потужність за максимально завантаженою зміну:

$$P_{\text{смСК}} = P_{\Sigma\text{СК}} \cdot K_{\text{в}} = 22,7 \cdot 0,75 = 16,8 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{смСК}} = P_{\text{смСК}} \cdot \text{tg}(\varphi) = 16,8 \cdot 0,75 = 12,6 \text{ квар}$$

Знаходимо номінальну потужність *освітлення*:

$$P_{\text{ном осв}} = P_{\text{пит}} \cdot F \text{ кВт},$$

$$P_{\text{ном.осв}} = 1840 \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 26 \text{ кВт}$$

де  $P_{\text{пит}} = 15 \cdot 10^{-3} \text{ Вт/м}^2$  – питомий коефіцієнт освітлення;

$F = 1840 \text{ м}^2$  – площа цеху;

$P_{\text{поп}} = 0,95$  - коефіцієнт попиту освітлення.

Визначаємо середню потужність за максимально завантаженою зміну:

$$P_{\text{см осв}} = P_{\text{ном осв}} \cdot P_{\text{поп}} = 26 \cdot 0,95 = 25 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{см осв}} = P_{\text{см осв}} \cdot \text{tg}(\varphi) = 25 \cdot 0,33 = 9 \text{ квар}$$

Знаходимо сумарну номінальну потужність електроприймачів, що працюють за постійним графіком навантаження:

$$P_{\Sigma}^- = \sum P_{\text{ном}} = 22,4 + 25 = 48,4 \text{ кВт}$$

Сумарна середня активна потужність електроприймачів, що працюють за постійним графіком навантаження:

$$P_{\Sigma\text{см}}^- = \sum P_{\text{см}}^- = 16,8 + 25 = 42,8 \text{ кВт}$$

Сумарна середня реактивна потужність електроприймачів, що працюють за постійним графіком навантаження:

$$Q_{\Sigma\text{см}}^- = \sum Q_{\text{см}}^- = 12,6 + 9 = 21,6 \text{ квар}$$

Розрахункова потужність всіх електроприймачів, що працюють із постійним графіком навантаження:

$$P_{\Sigma\text{розр}}^- = P_{\Sigma\text{см}}^- = 42,8 \text{ кВт}$$

$$Q_{\Sigma\text{розр}}^- = Q_{\Sigma\text{см}}^- = 21,6 \text{ квар}$$

Повна потужність:

$$S_{\text{розр}}^- = \sqrt{P_{\text{розр}}^{-2} + Q_{\text{розр}}^{-2}} = \sqrt{42,8^2 + 21,6^2} = 48 \text{ кВт} \cdot \text{А}$$

					Літ.	Аркуш	Аркушів
				ДП 2021 141		17	100

## 2.5. Визначення розрахункової потужності всієї групи електроприймачів

Знаходимо розрахункові потужності усіх електроприймачів:

$$P_{\text{розр}} = P_{\text{розр}}^{\sim} + P_{\text{розр}}^{-} = 435 + 42,8 = 478 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{розр}} = Q_{\text{розр}}^{\sim} + Q_{\text{розр}}^{-} = 310 + 21,6 = 332 \text{ кВт}$$

Повна потужність:

$$S_{\text{розр}} = \sqrt{P_{\text{розр}}^2 + Q_{\text{розр}}^2} = \sqrt{478^2 + 332^2} = 582 \text{ кВ}\cdot\text{А}$$

Також дані заносимо в табл.№2.

				ДП 2021 141	Літ.	Аркуш	Аркушів
						18	100

Таблиця № 2. Визначення розрахункової потужності електроприймачів цеху №2

тип	№	Обладнання	n	P <sub>ном</sub> , кВт		K <sub>в</sub>	cosφ/tgφ		P <sub>см</sub> ,кВт	Q <sub>см</sub> ,квар	m	n <sub>с</sub>	K <sub>м</sub>	P <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> ,квар	S <sub>р</sub> , квар
				ΣP <sub>ном</sub>	$\frac{P_{ном}^{min}}{P_{ном}^{max}}$		cosφ	tgφ								
Е/л до 1 кВ	1	Вентилятор	18	130,4	30/1,5	0,7	0,75	0,88	91,3	80,3						
	2	Компресор	2	182	160/22	0,65	0,8	0,75	118,3	88,7						
	3	Видувний агрегат	2	133	110/23	0,7	0,75	0,88	91,7	80,7						
	4	Кондиціонер	2	5,8	2,9/2,9	0,65	0,7	1,02	3,8	3,9						
	5	Насос	8	30,6	11/0,6	0,75	0,8	0,75	23	17,3						
	6	Засувка з електричним приводом	2	0,72	0,36/0,36	0,4	0,6	1,33	0,29	0,39						
	7	Щит КИПиА	3	1,45	0,7/0,25	0,7	0,8	0,75	1,02	0,77						
	9	Повітряна завіса	2	11	5,5/5,5	0,7	0,75	0,88	7,7	6,8						
	Σ	Сумарно по ~		493		0,7	0,76		337	279	640	6	1,29	435	310	534
	8	Стрічковий конвеєр	8	22,7	5,5/2,5	0,75	0,8	0,75	16,8	12,6				16,8	12,6	
	10	Освітлення	-	26	25	0,95	0,95	0,33	25	9				25	9	
Σ	Сумарно по –		48,4					42,8	21,6				42,8	21,6	48	
Всього цеху №2													478	332	582	

### 3. Побудова картограми навантажень та визначення центра електричних навантажень підприємства

Картограма навантажень підприємства являє собою розміщені по генеральному плану окружності, причому площі, обмежені цими колами, в обраному масштабі рівні розрахунковим навантаженням цехів. Для кожного цеху наноситься своя окружність, центр якої збігається з центром навантажень цеху. Центр навантажень цеху або підприємства є символічним центром споживання електричної енергії цеху (підприємства).

Головну знижувальних, розподільну і цехові підстанції слід розташовувати якомога ближче до центру навантажень, так як це дозволяє наблизити високу напругу до центру споживання електричної енергії та значно скоротити протяжність як розподільних мереж високої напруги підприємства, так і цехових електричних мереж низької напруги, зменшити витрату провідникового матеріалу і знизити втрати електричної енергії.

Кола поділяються на сектори, площі яких у певному масштабі відповідають певному типу навантажень:

- а) розрахункове навантаження електроприймачів;
- б) розрахункове освітлювальне навантаження.

На генплані підприємства довільно проводяться вісі координат і знаходяться координати центра навантажень цехів.

Координати центра електричних навантажень підприємства визначаємо, виходячи з виразу:

$$x_0 = \frac{\sum_1^n P_i \cdot x_i}{\sum_1^n P_i}; \quad y_0 = \frac{\sum_1^n P_i \cdot y_i}{\sum_1^n P_i}$$

де  $x_0, y_0$  - координати електричних навантажень підприємства;

$x_i, y_i$  - координати електричних навантажень і-го цеху;

$P_i$  - розрахункове навантаження і-го цеху.

При побудові картограми враховуємо тільки активні навантаження.

					Літ.	Аркуш	Аркушів
				ДП 2021 141		20	100

$$P_i = P_p + P_0,$$

де  $P_0$  - розрахункове навантаження внутрішнього освітлення споруд:

$$P_{осв} = P_{поп} \cdot P_{ном},$$

де  $P_{поп}$  - коефіцієнт попиту освітлювального навантаження;

$P_{ном}$  - номінальна напруга освітлювального навантаження, яка дорівнює:

$$P_{ном} = P_{пит} \cdot F, \text{ кВт},$$

де  $P_{пит}$  - питоме освітлювальне навантаження, Вт/м<sup>2</sup>;

$F$  - площа приміщення, м<sup>2</sup>,

$$F = a \cdot b \cdot c \cdot m^2,$$

де  $a$  - довжина будинку, м;  $b$  - ширина будинку, м;  $c$  - кількість поверхів;

$m$  - масштаб за генпланом,  $m = 1 : 500$ .

Радіус кола  $i$ -го цеха можна визначити за формулою:

$$R_i = \sqrt{\frac{P_i}{m' \cdot \pi}},$$

де  $m'$  - масштаб площі кола, який вибирається з міркувань наочності картограми, кВт/мм<sup>2</sup>;

Приймаємо  $m' = 0,05$  кВт/мм<sup>2</sup>;

Кут, що обмежує сектор освітлювального навантаження:

$$\alpha = (P_0/P_i) \cdot 360^\circ.$$

Наприклад, розрахуємо цех №3.

$$P_{ном} = P_{пит} \cdot F,$$

$$F = a \cdot b \cdot c \cdot m^2 = 31 \cdot 30 \cdot 0,25 = 232,5 \text{ м}^2$$

$$P_0 = 0,15 \cdot 232,5 = 33 \text{ кВт}$$

$$P_i = 436 + 33 = 469 \text{ кВт}$$

$$R_3 = \sqrt{\frac{469}{0,05 \cdot 3,14}} = 55 \text{ мм.}$$

$$\alpha = (P_0/P_i) \cdot 360^\circ = (33/469) \cdot 360^\circ = 25^\circ$$

					Літ.	Аркуш	Аркушів
				ДП 2021 141		21	100

За аналогією робимо розрахунки всіх приміщень даного підприємства і заносимо в таблицю №3.

Таблиця №3.

Найменування приміщень	$P_p$ , кВт	$P_o$ , кВт	$P_i$ , кВт	$a_o$	$r$ , мм	$x$ , м	$y$ , м
Цех №3	436	33	469	25	55	28	28
Цех №2	451,8	26	478	20	55	17	32
Головний корпус	940	90	1030	31	81	22	50
Майстерня котельної	106	50	156	115	32	95	74
склад	12	7	19	133	11	80	112
Склад готової продукції№1	28	33	61	194	20	162	113
Склад готової продукції№2	56	46	102	162	25	90	93
Цех сортування	56	9	65	50	20	190	94
Склад тари	9	15	24	225	12	120	25
Блок технічного транспорту і гараж	56	21	77	98	22	23	90
Усього по підприємству	2150,8	330	2481	48	126	51	50

Координати центра електричних навантажень для всього підприємства:

$$x_0 = \frac{\sum_1^n P_i \cdot x_i}{\sum_1^n P_i} =$$

$$\frac{469 \cdot 28 + 478 \cdot 170 + 1030 \cdot 22 + 156 \cdot 95 + 19 \cdot 80 + 61 \cdot 162 + 102 \cdot 210 + 65 \cdot 245 + 24 \cdot 120 + 77 \cdot 23}{2481} = 75 \text{ м}$$

$$y_0 = \frac{\sum_1^n P_i \cdot y_i}{\sum_1^n P_i} =$$

$$\frac{469 \cdot 28 + 478 \cdot 130 + 1030 \cdot 50 + 156 \cdot 74 + 19 \cdot 112 + 61 \cdot 113 + 102 \cdot 125 + 65 \cdot 130 + 24 \cdot 25 + 77 \cdot 90}{2481} = 72 \text{ м}$$

#### 4. Визначення навантаження підприємства на рівні ЦРП

Розрахуємо реактивну потужність електроприймачів по цехам і по всьому підприємству.

Таблиця 4.

№ цеха	$P_p$ , кВт	$\frac{\cos \varphi}{\operatorname{tg} \varphi}$	$Q_p$ , кВАр
Цех №3	436	0,75/0,88	383,7
Цех №2	451,8	0,77/0,83	375
Головний корпус	940	0,75/0,88	872,2
Майстерня котельної	106	0,65/1,17	124
Склад	12	0,9/0,48	5,8
Склад готової продукції №1	28	0,9/0,48	13,4
Склад готової продукції №2	56	0,9/0,48	27
Цех сортування	56	0,7/1,02	57,1
Склад тари	9	0,9/0,48	4,3
Блок технічного транспорту і гараж	56	0,75/0,88	49,2
Всього	2150,8	0,8/0,86	1911,7

Для розрахунків потрібні дані сумарних активних і реактивних навантажень :

$$P_{p\Sigma} = P_p + P_0 = 2150,8 + 330 = 2480,8 \text{ кВт}$$

$$Q_{p\Sigma} = Q_p + Q_0 = 1911,7 + 109 = 2020,7 \text{ квар,}$$

$$\text{де } Q_0 = P_0 \cdot \operatorname{tg}(\arccos(0,95)) = 330 \cdot 0,33 = 109 \text{ квар}$$

Розрахуємо загальний коефіцієнт потужності для всього підприємства:

$$\cos \varphi_0 = \cos(\operatorname{arctg} Q_{p\Sigma} / P_{p\Sigma}),$$

$$\cos \varphi_0 = \cos(\operatorname{arctg} 2020,7 / 2480,8) = 0,76.$$

Так як на підприємстві була запроєктована повна компенсація реактивної потужності на рівні РП НН цехових ТП, реактивне навантаження підприємства на рівні ЦРП буде дорівнювати нулю, тобто  $Q_p^{\text{ЦРП}} = Q_{p\Sigma} = 0$

					Літ.	Аркуш	Аркушів
				ДП 2021 141		23	100

Тому повна потужність на рівні ЦРП:

$$S_p^{\text{ЦРП}} = \sqrt{(P_p^{\text{ЦРП}})^2 + (Q_p^{\text{ЦРП}})^2}$$

Отже  $S_p^{\text{ЦРП}} = P_{p\Sigma} = 2480,8$  кВт.

				ДП 2021 141	Літ.	Аркуш	Аркушів
						24	100

## 5. Вибір напруги розподільчої мережі

Для того щоб визначитися з вибором напруги живлячої мережі необхідно враховувати потужність, що споживається підприємством, його віддаленість від джерела живлення, кількість та потужності усіх електроприймачів.

Значення величини живлячої напруги визначає параметри ліній електропередачі та вибраного електрообладнання, а також, розміри капіталовкладень, втрати електроенергії.

Для визначення раціональної напруги спочатку визначаємо нестандартну напругу, при якій мають місце мінімальні приведені річні витрати електроенергії. Вона розраховується за формулою Стилла:

$$U = 4,34 \cdot \sqrt{l + 16 \cdot P} = 4,34 \cdot \sqrt{2 + 16 \cdot 1,3} = 21 \text{ кВ}$$

$$P = \frac{P_{p\Sigma}}{n_{л}} = \frac{2480,8}{2} = 1300 \text{ кВт} = 1,3 \text{ МВт}$$

де  $l$  - довжина живлячої лінії, км;

$P$  - потужність одного кола передачі, МВт.

$n_{л}$  - кількість живлячих ліній; ( $n_{л}=2$ , так як живлення здійснюється від двох підстанцій: Миропільська та Оболонь.)

В проекті для схеми зовнішнього електропостачання приймаємо напругу 10 кВ. Ця напруга більш ефективна ніж напруга 6 кВ для тих підприємств, де кількість високовольтних двигунів обмежена, або їх взагалі немає.

Тобто, так як в нашому варіанті на підприємстві відсутні високовольтні двигуни, то приймаємо напругу - 10 кВ, витрата провідникового матеріалу менші, звідси також менші капіталовкладення, втрати електроенергії.

					Літ.	Аркуш	Аркушів
				ДП 2021 141		25	100

## 6. Вибір схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання

### 6.1 Електропостачання

Відповідно до технічних умов живлення заводу передбачається за існуючою схемою від двох джерел харчування ПС «Миропільська» і ПС «Оболонь».

За ступенем безперебійності і надійності електропостачання більшість електроприймачів підприємства відносяться до споживачів III категорії. До II категорії відносяться деякі електроспоживачі (котельня, купажний цех тощо). Основними споживачами електроенергії лінії розливу № 2 є асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором; технологічне і сантехнічне устаткування: насоси для подачі води, компресорна станція і світильники.

Напряга живильної мережі прийнято по напрузі джерела споживання ТП-1495 і складає 10 кВ. Розподіл електроенергії споживачам передбачається на напрузі 0,4 кв. Живлення низьковольтних силових і освітлювальних навантажень прийнято від загальних трансформаторів: напруга в силових споживачів 380/220 кв, на лампах електроосвітлення - 220 В.

Вибір числа і потужності трансформаторів обумовлено електричними навантаженнями проектного й існуючого устаткування виробничого корпусу.

З метою максимального наближення джерела живлення, а також індустріалізації монтажу проектом запроектовано дві комплектні трансформаторні підстанції: типу КТП-2\*1000-10/0,4кВ та типу КТП-2\*400-10/0,4кВ.

Підключення трансформаторної підстанції передбачається від РУ-10 кв, ТП 1495. Керування і релейний захист передбачений в комірках РУ-10 кв. Для підключення прийняті кабелі марки АПвВ. Кабелі прокладаються в траншеї на глибині 0,7 м .

					Літ.	Аркуш	Аркушів
				ДП 2021 141		26	100

## 6.2. Схема розподілу електроенергії

Схема розподілу електроенергії виконана з мінімізуючими втратами, та враховує максимум надійності і забезпечує можливість розвитку підприємства без значних перевитрат. Всі елементи системи електропостачання постійно знаходяться під навантаженням. Якщо один з елементів виходить з ладу, його навантаження перерозподіляється між тими які залишилися в роботі з врахуванням допустимих перевантажень. Потужність знижувальних трансформаторів КТП обрана з урахуванням можливості пуску електродвигуна компресорної станції потужністю 250 кВт.

## 6.3. Компенсація реактивної енергії

Відповідно до технічних умов проектом передбачається повна компенсація реактивної потужності. На підприємстві по розрахункам дійсний середньозважений коефіцієнт потужності по об'єкту дорівнює 0,76.

Підвищення коефіцієнта потужності досягається за рахунок установки комплектних конденсаторних батарей.

Відповідно до розрахунку доцільна установка конденсаторів на стороні низької напруги. Розміщення конденсаторних установок передбачається в приміщенні КТП і підключається на різні секції РУ-0,4 кв.

## 6.4. Облік електроенергії й електричні виміри

Розрахунковий облік активної і реактивної електроенергії передбачається багатотарифними лічильниками НІК 2300 АР6Т.1000.С.11 на стороні 0,4 кв КТП-2\*1000 та КТП – 2\*400.

Для виміру напруги і струму встановлюються вольтметри на кожній секції РУ-10кв ТП 1495 і на шинах низької напруги трансформаторних підстанцій.

Амперметри на фідерах, що відходять, РУ-10 кв РП 1495 і на фідерах ліній, що відходять, 0,4 кв КТП.

Спостереження за температурою масла в трансформаторах КТП здійснюється за показниками термометричних сигналізаторів.

					<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
				<i>ДП 2021 141</i>		27	100

## 6.5. Силове електроуstattкування

У проекті приймаємо систему з глухозаземленою нейтраллю.

За ступенем надійності електропостачання більшість електроприймачів лінії розливу №2 відносяться до споживачів III категорії. Як джерело електропостачання прийнята ново споруджувана комплектна трансформаторна підстанція КТП-2\*400.

Розподіл електроенергії прийнятий по радіальних лініях від щита 0,4 кв проєктованої КТП-2\*400. Як розподільні шафи прийняті навісні шафи типу ПР11, ПР22.

Усе технологічне устаткування поставляється комплектно з пусковою і захисною апаратурою, а для систем сантехвентиляції застосовані магнітні пускачі з вбудованими кнопками „Пуск” і „Стоп” типу ПМА і шафа керування ШНВ(И)-2УЗ. Проектом передбачається відключення сантехвентиляції на випадок виникнення пожежі. Для компенсації реактивної потужності використовуються комплектні конденсаторні установки типу УКРМ потужністю 840 та 280 квар, встановлювані в приміщенні КТП на кожную секцію РУ-0,4 кв.

Всі живлячі і розподільчі виконуються кабелями з алюмінієвими жилами марки АВВГнг. Кабелі прокладаються в металевих коробах, що кріпляться до балок або плит перекриття.

Для захисту від поразки електричним струмом проектом передбачається занулення всіх металевих неструмоведучих частин технологічного й електротехнічного устаткування, передаточних конвеєрних ліній і трубопроводів, що можуть виявитися під напругою в результаті ушкодження ізоляції. У якості занулюючих провідників використовуються нульові захисні провідники мережі. Зануленню підлягають конструкції і короби електропроводки, шляхом приєднання двох кінців до нульових захисних провідників мережі.

					<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
				<i>ДП 2021 141</i>		28	100

## 7.1 Вибір кількості та потужності трансформаторів.

Дуже важливо при проектуванні підстанцій правильно та раціонально обрати потужність та кількість трансформаторів.

Нераціональний вибір викликає додаткові інвестиційні перевитрати, збільшує період окупності проекту, підвищує річні витрати, такі як, втрати енергії, так як коефіцієнт корисної дії малих трансформаторів нижче, ніж великих.

В зв'язку з тим, що у відношенні забезпечення безперебійності електропостачання, підприємство відноситься до споживачів III категорії, електропостачання виконується від однієї трансформаторної підстанції, на якій встановлено два трансформатора.

Щоб підприємство не несло збитки через простой, потужність трансформаторів вибирають так, щоб при виході з ладу одного з них, другий, з урахуванням додаткових перевантажень, забезпечував живлення всіх споживачів III категорії. Вибір потужності трансформаторів проводиться на основі техніко-економічного розрахунку, виходячи з повного навантаження підприємства.

Оптимальна потужність трансформаторів визначається по приведеним витратам шляхом техніко-економічного порівняння варіантів. При виборі потужності трансформаторів слід виходить з раціонального їх навантаження при нормальному режимі роботи.

Значення коефіцієнта навантаження визначається виходячи з можливості подальшого резервування при виході з роботи одного трансформатора з урахуванням допустимого перевантаження на той, що залишився в роботі.

Для техніко-економічного порівняння необхідно взяти два трансформатора різної потужності, що вибирають з умови допустимості післяаварійних перевантажень

$$1,4S_{ном} > S_p$$

Основними критеріями вибору є:

- надійність електропостачання згідно з категорією споживача;

					Літ.	Аркуш	Аркушів
				ДП 2021 141		29	100

- відповідна трансформаторна потужність;
- мінізуючі витрати кольорового металу.

Оптимальний варіант обираємо на основі порівняння капіталовкладень та річних експлуатаційних витрат, що розрахуємо далі.

## 7.2. Вибір трансформаторів на ТП

Кількість трансформаторів на ТП:

$$n_T = 2.$$

Бажана номінальна потужність одного трансформатора ТП1 на стороні 0,4 кВ, враховуючи передбачену компенсацію реактивної потужності:

$$S_{T.баж} = \frac{S_p^{ТП1}}{n_T} = \frac{1767}{2} = 883,5 \text{ кВА.}$$

Обираємо трансформатор що найближче підходить до номінальної потужності паспортних даних силових трансформаторів:

$$S_{НОМ.Т} = 1000 \text{ кВА}$$

Розрахунковий коефіцієнт завантаження трансформаторів КТП-2×1000:

$$\beta_p = \frac{S_p^{ТП1}}{S_{НОМ}^{ТП}} = \frac{1767}{2000} = 0,88 ,$$

$$\text{Де } S_{НОМ}^{ТП} = n \cdot S_{НОМ.Т} = 2 \cdot 1000 = 2000 \text{ кВт.}$$

Середній коефіцієнт завантаження трансформаторів КТП-2×1000:

$$\beta_c = \frac{S_{CM}^{ТП1}}{S_{НОМ}^{ТП}} = \frac{1590}{2000} = 0,80$$

По ТП2 вибір здійснюється аналогічно. Результати розрахунків зводимо в таблицю 5.

					Літ.	Аркуш	Аркушів
				ДП 2021 141		30	100

Таблиця №5

№	ТП	$P_p^{ТП}$	$Q_{P(к)}^{ТП}$	$S_{P(к)}^{ТП}$	КТП			$\beta_p$	$\beta_c$
					$S_{НОМ.Т}$	$n_T$	$S_{НОМ}^{ТП}$		
	Найменування	кВт	кВ·А	кВ·А	кВ·А	шт	кВ·А	0,88	0,8
1	ТП1	1767	0	1767	1000	2	1000*2 = 2000		
2	ТП2	714	0	714	400	2	400*2= 800	0,9	0,8

Вибір трансформаторів на ТП цеху, якщо ми врахували компенсації реактивної потужності.

Остаточний висновок зробимо на основі розрахунків техніко-економічних показників, для прикладу на ТП1:

Розглянемо обидва варіанти:

1. 2\*ТМГ 1000/10;
2. 2\*ТМГ 1600/10

Паспортні дані трансформаторів

Таблиця №6

Тип тр-ра	$\Delta P_{xx}$	$\Delta P_{кз}$	$U_{кз}$	$I_{xx}$	Ціна грн.	ВН	НН
ТМГ 1000/10	2,4	10	4,5	1,4	195 000	10	0,4
ТМГ 1600/10	3,3	16,5	6,0	1,3	350 000	10	0,4

### 7.3. Розрахунок першого варіанту ТМГ 1000/10

Складемо вираз для втрат потужності у трансформаторах.

Економічний еквівалент реактивної потужності, заданий енергосистемою для заводу у відповідності з розташуванням на місцевості:  $k_e = 0,04$  кВт/ квар.

$$\Delta Q_{xx} = S_{\text{НОМ.Т}} \cdot \frac{I_x}{100} = 1000 \cdot \frac{1,4}{100} = 14 \text{ квар};$$

$$\Delta Q_{k3} = S_{\text{НОМ.Т}} \cdot \frac{U_k}{100} = 1000 \cdot \frac{4,5}{100} = 45 \text{ квар};$$

$$\Delta P'_{xx} = \Delta P_{xx} + k_e \cdot \Delta Q_{xx} = 2,4 + 0,04 \cdot 14 = 3 \text{ кВт};$$

$$\Delta P'_{k3} = \Delta P_{k3} + k_e \cdot \Delta Q_{k3} = 10 + 0,04 \cdot 45 = 11,8 \text{ кВт};$$

Зведені втрати потужності в одному трансформаторі:

$$\Delta P'_{1000} = \Delta P'_{xx} + k_3^2 \cdot \Delta P'_{k3} = 3 + k_3^2 \cdot 11,8$$

Зведені втрати потужності в двох паралельно працюючих трансформаторах:

$$\Delta P'_{2 \times 1000} = 2 \cdot \Delta P'_{xx} + 2 \cdot k_3^2 \cdot \Delta P'_{k3} = 6 + k_3^2 \cdot 23,6$$

Навантаження, при якому виникає необхідність паралельної роботи трансформаторів:

$$S'_{1000} = S_{\text{н.т.}} \cdot \sqrt{n \cdot (n - 1) \cdot \frac{\Delta P'_{xx}}{\Delta P'_{k3}}} = 1000 \cdot \sqrt{2 \cdot (2 - 1) \cdot \frac{3}{11,8}} = 713 \text{ кВА}$$

$n$  – кількість трансформаторів.

Коефіцієнт завантаження трансформатора, для потужності  $S'_{1000}$ :

$$k_3 = \frac{S'_{1000}}{2 \cdot S_{\text{НОМ.Т}}} = \frac{713}{2 \cdot 1000} = 0,357.$$

				ДП 2021 141	Літ.	Аркуш	Аркушів
						32	100

#### 7.4. Розрахунок другого варіанту - ТМГ 1600/10

Складемо вираз для втрат потужності у трансформаторах:

$$\Delta Q_{xx} = S_{\text{ном.т}} \cdot \frac{I_x}{100} = 1600 \cdot \frac{1,3}{100} = 20,8 \text{ квар};$$

$$\Delta Q_{k3} = S_{\text{ном.т}} \cdot \frac{U_k}{100} = 1600 \cdot \frac{6}{100} = 96 \text{ квар};$$

$$\Delta P'_{xx} = \Delta P_{xx} + k_e \cdot \Delta Q_{xx} = 3,3 + 0,04 \cdot 20,8 = 4,1 \text{ кВт};$$

$$\Delta P'_{k3} = \Delta P_{k3} + k_e \cdot \Delta Q_{k3} = 16,5 + 0,04 \cdot 96 = 20,3 \text{ кВт.}$$

Коефіцієнт залишається незмінний  $k_e = 0,04 \text{ кВт/ квар.}$

Зведені втрати потужності в одному трансформаторі:

$$\Delta P'_{1600} = \Delta P'_{xx} + k_3^2 \cdot \Delta P'_{k3} = 4,1 + k_3^2 \cdot 20,3$$

Зведені втрати потужності в двох паралельно працюючих трансформаторах:

$$\Delta P'_{2 \times 1600} = 2 \cdot \Delta P'_{xx} + 2 \cdot k_3^2 \cdot \Delta P'_{k3} = 8,2 + k_3^2 \cdot 40,6$$

Навантаження, при якому виникає необхідність паралельної роботи трансформаторів:

$$S'_{1600} = S_{\text{н.т.}} \cdot \sqrt{n \cdot (n - 1) \cdot \frac{\Delta P'_{xx}}{\Delta P'_{k3}}} = 1600 \cdot \sqrt{2 \cdot (2 - 1) \cdot \frac{4,1}{20,3}} = 1017 \text{ кВА}$$

Коефіцієнт завантаження трансформатора, для потужності  $S'_{1600}$ :

$$k_3 = \frac{S'_{1600}}{2 \cdot S_{\text{ном.т}}} = \frac{1017}{2 \cdot 1600} = 0,32.$$

Методом вивчення річного графіка (зображеного на рис.1) тривалості навантаження розрахуємо річні втрати потужності та електроенергії для всіх ступенів, результати обох зводимо в таблицю №7.

					Літ.	Аркуш	Аркушів
				ДП 2021 141		33	100

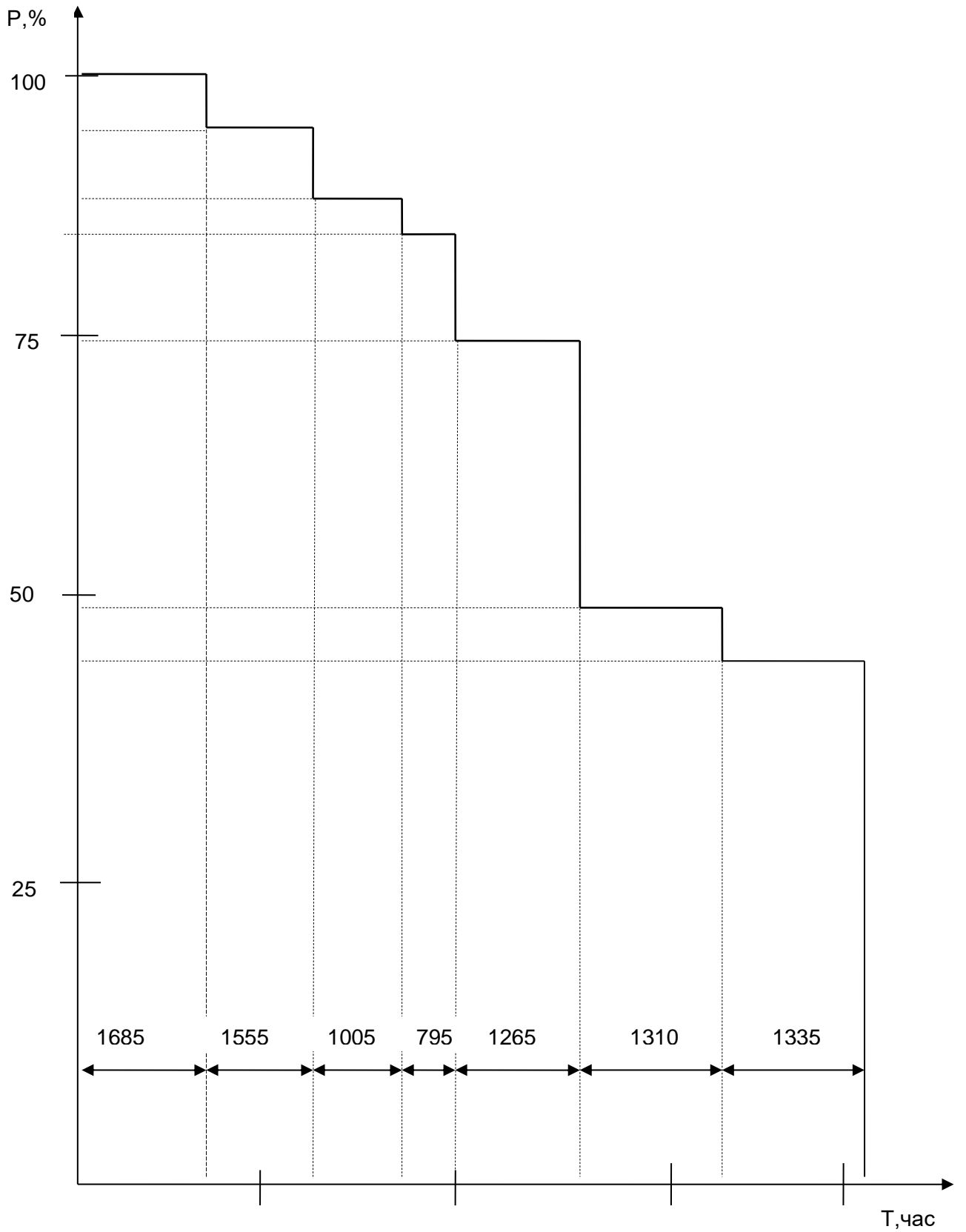


Рис. 1. Річний графік тривалості навантаження

Таблиця №7.

№ ступені	Тривалість ступеню Т год.	Sp	Втрати потужності в тр-рі Р, кВт	Кз	Втрати енергії, $\Delta W = P \cdot T$ кВт·г / рік
<b>1000 кВ·А</b>					
1	1335	742	9,2	0,37	12282
2	1310	848	10,2	0,42	13362
3	1265	1237	15	0,62	18930
4	795	1449	18,2	0,72	14469
5	1005	1484	18,9	0,74	18995
6	1555	1625	21,5	0,81	33433
7	1685	1767	24,3	0,88	40946
					<b>152417</b>
<b>1600 кВ·А</b>					
1	1335	742	8,3	0,46	11081
2	1310	848	9,8	0,53	12838
3	1265	1237	14,4	0,39	18216
4	795	1449	16,4	0,45	130038
5	1005	1484	16,8	0,46	16884
6	1555	1625	18,4	0,5	28612
7	1685	1767	20,5	0,55	34543
					<b>135212</b>

Визначаємо найбільш ефективний варіант встановлення трансформаторів.

Капітальні витрати по варіантам складають:

$$K_1 = 2 \cdot K_{1000} = 2 \cdot 195\,000 = 390\,000 \text{ грн.};$$

$$K_2 = 2 \cdot K_{1600} = 2 \cdot 350\,000 = 700\,000 \text{ грн.}$$

Амортизаційні витрати:

$$Ca_1 = (K_{ат} + K_{пр}) \cdot K_1 = (0,063 + 0,03) \cdot 390\,000 = 36\,270 \text{ грн.};$$

$$Ca_2 = (K_{ат} + K_{пр}) \cdot K_2 = (0,063 + 0,03) \cdot 700\,000 = 65\,100 \text{ грн.};$$

					Літ.	Аркуш	Аркушів
				ДП 2021 141		35	100

де  $K_{ат}=0,063$ - коефіцієнт амортизаційних відрахувань на трансформатори ;  
 $K_{пр} =0,03$  - коефіцієнт відрахувань на поточний ремонт.

Вартість річних втрат електроенергії при  $C_a = 2,2$  грн/кВт - ціна електроенергії складає:

$$C_{П1} = 2,2 \cdot \Sigma \Delta W_1 = 2,2 \cdot 152417 = 335\,317 \text{ грн.};$$

$$C_{П2} = 2,2 \cdot \Sigma \Delta W_2 = 2,2 \cdot 135212 = 297\,466 \text{ грн.}$$

Сумарні експлуатаційні витрати:

$$C_1 = C_{a1} + C_{П1} = 36\,270 + 335\,317 = 371\,587 \text{ грн.};$$

$$C_2 = C_{a2} + C_{П2} = 65\,100 + 297\,466 = 362\,566 \text{ грн.}$$

Приведені витрати:

$$Z = E_n \cdot K + C.$$

$$Z_1 = 0,1 \cdot 390\,000 + 371\,587 = 410\,587 \text{ грн}$$

$$Z_2 = 0,1 \cdot 700\,000 + 362\,566 = 432\,566 \text{ грн}$$

Отже, виходячи з економічніших затрат, обираємо перший варіант, тобто трансформатор ТМГ 1000/10.

В результаті аналогічних розрахунків по ТП2, зупиняєм вибір на трансформаторі ТМГ 400/10.

					<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
				<i>ДП 2021 141</i>		36	100

## 8. Вибір перерізу високовольтних кабельних ліній

### 8.1. Вибір живлячих КЛ до ЦРП

Визначаємо струми нормального, максимального та аварійного режимів:

$$I_{\text{НОРМ}} = \frac{S_{\Sigma(\text{К})}^{\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot n_{\text{КЛ}} \cdot U_{\text{НОМ}}^{\text{CP}}} = \frac{2239}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot 10} = 64,7 \text{ А};$$

$$I_{\text{МАХ}} = \frac{S_{\text{P}(\text{К})}^{\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot n_{\text{КЛ}} \cdot U_{\text{НОМ}}^{\text{CP}}} = \frac{2481}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot 10} = 71,7 \text{ А};$$

$$I_{\text{АВ}} = \frac{S_{\text{P}(\text{К})}^{\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot n_{\text{КЛ}} \cdot U_{\text{НОМ}}^{\text{CP}}} = \frac{2481}{\sqrt{3} \cdot 1 \cdot 10} = 143 \text{ А}; \text{ (з розрахунку, що один трансформатор вимкнено)}$$

За табл. 1.3.36[3] визначаємо економічну густину струму при  $T_{\text{МАХ}} = 4480$  год. для кабельної лінії  $j_{\text{ЕК}}^{\text{КЛ}} = 1,4 \text{ А/мм}^2$ .

Економічно вигідний переріз КЛ:

$$S_{\text{ЕК}} = \frac{I_{\text{НОРМ}}}{j_{\text{ЕК}}^{\text{КЛ}}} = \frac{64,7}{1,4} = 46,5 \text{ мм}^2$$

За інтернет ресурсу [4] вибираємо кабель типу ААБл-10 3×70 (паперовоізолюваний алюмінієвий трижильний кабель зі сталевими жилками та захисним кожухом і лавсановою стрічкою), прокладений в землі.

Перевіряємо кабель на допустимий струм за умовою нагріву, причому повинна виконуватись умова, що  $I_{\text{доп.р}} > I_{\text{ав}}$

$$I_{\text{доп.р}} = I_{\text{доп}} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$$

$k_1=1,06$  - коефіцієнт, що враховує температуру середовища, яка відрізняється від розрахункової, табл 1.3.3 [3];

$k_2=1$  – коефіцієнт що враховує питомий опір землі, табл. 1.3.23 [3];

$k_3=1$  – коефіцієнт, що враховує зниження струмового навантаження при кількості кабелів в одній траншеї, табл 1.3.26 [3].

$I_{\text{доп}}=199$ , табл 1.3.16 [3]

$$I_{\text{доп.р}} = 199 \cdot 1,06 \cdot 1 \cdot 1 = 211 \text{ А}$$

$211 \text{ А} > 143 \text{ А}$  – умова виконується.

Для кабеля 3×70  $r_0 = 0,447 \text{ Ом/км}$ ,  $x_0 = 0,082 \text{ Ом/км}$ , табл 3.28 [1].

					Літ.	Аркуш	Аркушів
				ДП 2021 141		37	100

## 8.2. Вибір КЛ живлячих цехових ТП

### Вибираємо КЛ для ТП1

Нормальний та максимальний струми

$$I_{\text{НОРМ}} = \frac{S_{\Sigma(\text{К})}}{\sqrt{3} \cdot n_{\text{КЛ}} \cdot U_{\text{НОМ}}^{\text{CP}}} = \frac{1590}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot 10} = 46 \text{ А};$$

$$I_{\text{МАХ}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{1,4 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 81 \text{ А.}$$

Економічно вигідний переріз КЛ:

$$S_{\text{ЕК}} = \frac{I_{\text{НОРМ}}}{J_{\text{ЕК}}^{\text{КЛ}}} = \frac{46}{1,4} = 32,8 \text{ мм}^2$$

Методом округлення обираємо стандартний переріз КЛ:

$$S_{\text{СТ}} \geq S_{\text{ЕК}}$$

$$50 \geq 32,8$$

Вибираємо кабель типу АПВВ-10-3х50, прокладка в землі.

Перевіряємо кабель на допустимий струм за умовою нагріву, причому повинна виконуватись умова, що  $I_{\text{ДОП}} > I_{\text{МАХ}}$

$$145 \text{ А} > 81 \text{ А} - \text{умова виконується}$$

$$I_{\text{ДОП}} = 145, \text{ табл 1.3.16 [3]}$$

Погонні параметри лінії, табл 3.28 [1]:

$$r_0 = 0,625 \text{ Ом/км}; \quad x_0 = 0,085 \text{ Ом/км.}$$

### Вибираємо КЛ для ТП2

Знаходимо нормальний та максимальний струми:

$$I_{\text{НОРМ}} = \frac{S_{\Sigma(\text{К})}}{\sqrt{3} \cdot n_{\text{КЛ}} \cdot U_{\text{НОМ}}^{\text{CP}}} = \frac{615}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot 10} = 17,8 \text{ А};$$

$$I_{\text{МАХ}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{1,4 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 10} = 32 \text{ А.}$$

Економічно вигідний переріз КЛ:

$$S_{\text{ЕК}} = \frac{I_{\text{НОРМ}}}{J_{\text{ЕК}}^{\text{КЛ}}} = \frac{17,8}{1,4} = 13 \text{ мм}^2$$

Методом округлення обираємо стандартний переріз КЛ:

$$S_{\text{СТ}} > S_{\text{ЕК}}$$

$$25 > 13$$

					Літ.	Аркуш	Аркушів
				ДП 2021 141		38	100

Вибираємо кабель типу АПВВ-3х25, прокладка в землі.

Перевіряємо кабель на допустимий струм за умовою нагріву, причому повинна виконуватись умова, що  $I_{\text{доп}} > I_{\text{мах}}$

$$90 \text{ А} > 32 \text{ А} - \text{умова виконується}$$

$$I_{\text{доп}}=90, \text{ табл 1.3.16 [3]}$$

Погонні параметри лінії, табл 3.28 [1]:

$$r_0 = 1,25 \text{ Ом/км}; x_0 = 0,091 \text{ Ом/км.}$$

				ДП 2021 141	Літ.	Аркуш	Аркушів
						39	100

## 9. Розрахунок струмів короткого замикання

Коротким замиканням називають будь-яке з'єднання різних фаз, які є нетиповими для нормального режиму роботи. Причинами короткого замикання є порушення цілісності ізоляції, що може виникати внаслідок зносу електрообладнання, механічне порушення цілісності елементів мережі, пробій від перенапруг та старіння, обриви, накиди та перетини проводів, повітряних ліній, а також людський фактор- помилкові дії обслуговуючого персоналу при перемикаваннях.

Внаслідок короткого замикання в колі виникають небезпечні для елементів кола струми, які можуть вивести його з ладу. Тому для забезпечення надійності роботи цих мереж, електрообладнання пристроїв релейного захисту проводиться розрахунок струмів короткого замикання.

Місце розташування точок короткого замикання вибираємо таким чином, щоб при короткому замиканні електрообладнання, що перевіряється та провідники знаходились в найбільш не вигідних умовах.

Цех розливу №2, що планується ввести в експлуатацію, отримує електроенергію від системи. За базову потужність для розрахунку струму короткого замикання приймаємо потужність:

$$S_6 = 10 \text{ МВА};$$

Базові напруги:

$$U_6 = 10.5 \text{ кВ};$$

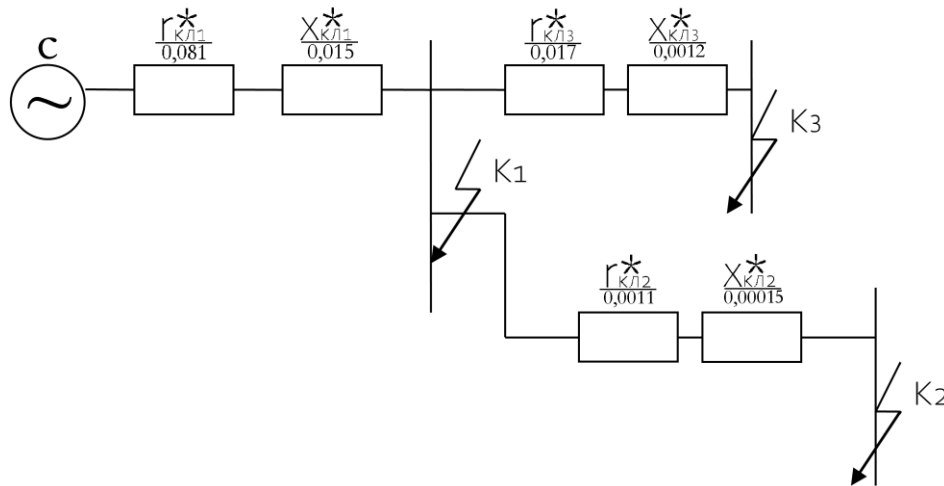
Базові струми:

$$I_6 = \frac{S_6}{U_6 \cdot \sqrt{3}} = \frac{10}{10,5 \cdot \sqrt{3}} = 0,55 \text{ кА}$$

Складаємо схему заміщення, де включені всі елементи системи.

					<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
				<i>ДП 2021 141</i>		40	100

### Схема заміщення



Розраховуємо опори елементів схеми заміщення у відносних одиницях.

Опори КЛ від джерела:

$$r_{кЛ1}^* = \frac{r_0 \cdot l_L}{(U_{нл})^2} \cdot S_б = \frac{0,447 \cdot 2}{10,5^2} \cdot 10 = 0,081$$

$$x_{кЛ1}^* = \frac{x_0 \cdot l_L}{(U_{нл})^2} \cdot S_б = \frac{0,082 \cdot 2}{10,5^2} \cdot 10 = 0,015$$

Опір системи:  $x_c^* = x_c \cdot \frac{S_б}{S_c} = 1 \cdot \frac{10}{100} = 0,1$

Опори КЛ до ТП потужністю 1000 кВА ( $l = 0,02$  км):

$$r_{кЛ2}^* = \frac{r_0 \cdot l_L}{(U_{нл})^2} \cdot S_б = \frac{0,625 \cdot 0,02}{10,5^2} \cdot 10 = 0,0011$$

$$x_{кЛ2}^* = \frac{x_0 \cdot l_L}{(U_{нл})^2} \cdot S_б = \frac{0,085 \cdot 0,02}{10,5^2} \cdot 10 = 0,00015$$

Опори КЛ до ТП потужністю 400 кВА ( $l = 0,15$  км):

$$r_{кЛ3}^* = \frac{r_0 \cdot l_L}{(U_{нл})^2} \cdot S_б = \frac{1,125 \cdot 0,15}{10,5^2} \cdot 10 = 0,017$$

$$x_{кЛ3}^* = \frac{x_0 \cdot l_L}{(U_{нл})^2} \cdot S_б = \frac{0,091 \cdot 0,15}{10,5^2} \cdot 10 = 0,0012$$

Струм короткого замикання приймаємо незмінним, так як система має набагато більшу потужність, ніж потужність цеху №2.

$$I_\infty^* = I_r^* = I_{0.0}^* = \frac{1}{X_p^*},$$

де  $X_p^*$  - результуючий опір до точки короткого замикання.

					Літ.	Аркуш	Аркушів
				ДП 2021 141		41	100

**9.1. Коротке замикання в точці К1 на шинах КРП 10 кВ.  
Заклучний опір для точки К1 буде дорівнювати:**

$$Z_{\text{закл.к1}}^* = \sqrt{(r_{\text{кл1}}^*)^2 + (x_c^* + x_{\text{кл1}}^*)^2} = \sqrt{(0,081)^2 + (0,1 + 0,015)^2} = 0,14$$

Надперехідне початкове значення періодичної складової струму к.з. від системи:

$$I''_{\text{СК1}} = \frac{1}{Z_{\text{закл.к1}}^*} \cdot I_6 = \frac{1}{0,14} \cdot 0,55 = 3,9 \text{ кА}$$

Ударний струм:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I''_{\text{СК1}} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 3,9 = 9,8 \text{ кА}$$

$k_y = 1,8$ – ударний коефіцієнт

Аперіодична стала часу для системи:

$$T_a^{(c)} = \frac{-0,01}{\ln(k_y - 1)} = \frac{-0,01}{\ln(1,8 - 1)} = 0,044 \text{ с}$$

Час початку відключення:

$$\tau_{\text{п.в.}} = \tau_{\text{р.з.}} + \tau_{\text{в.в.}} = 0,01 + 0,07 = 0,08 \text{ с}$$

Аперіодична складова струму к.з.:

$$i_a = \sqrt{2} \cdot I''_{\text{СК1}} \cdot e^{-\frac{\tau_{\text{пв}}}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 3,9 \cdot e^{-\frac{0,08}{0,044}} = 0,82 \text{ кА}$$

Тепловий імпульс:

$$B_{\text{К}}^{\text{К1}} = (I''_{\text{СК1}})^2 \cdot (\tau_{\text{п.в.}} + T_a) = 3,9^2 \cdot (1,08 + 0,044) = 17 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Перевіряємо КЛ, яка йде від джерела за умовою:

$$S_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_{\text{К}}^{\text{К1}}}}{c} = \frac{\sqrt{17 \cdot 10^6}}{90} = 45,8 \text{ мм}^2 < S_{\text{СТ}}^{\text{КЛ1}} = 70 \text{ мм}^2$$

**9.2. Коротке замикання в точці К2 на шинах ВН ТП1 (цех розливу №2).**

Для точки К2 знаходимо заклучний опір:

$$Z_{\text{закл.к2}}^* = \sqrt{(r_{\text{кл2}}^* + r_{\text{кл1}}^*)^2 + (x_c^* + x_{\text{кл1}}^* + x_{\text{кл2}}^*)^2} = \sqrt{(0,0011 + 0,081)^2 + (0,1 + 0,015 + 0,00015)^2} = 0,141$$

Початкове надперехідне значення періодичної складової струму к.з. від системи:

$$I''_{\text{СК2}} = \frac{1}{Z_{\text{закл.к2}}^*} \cdot I_6 = \frac{1}{0,141} \cdot 0,55 = 3,9 \text{ кА}$$

					Літ.	Аркуш	Аркушів
				ДП 2021 141		42	100

Ударний струм:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I''_{\text{СК2}} = \sqrt{2} \cdot 3,9 \cdot 1,6 = 9,9 \text{ кА}$$

Аперіодична стала часу для системи:

$$T_a^{(c)} = \frac{-0,01}{\ln(k_y - 1)} = \frac{-0,01}{\ln(1,8 - 1)} = 0,044 \text{ с}$$

Аперіодична складова струму к.з.:

$$i_a = \sqrt{2} \cdot I''_{\text{СК2}} \cdot e^{\frac{-\tau_{\text{нв}}}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 3,9 \cdot e^{\frac{-0,08}{0,044}} = 0,82 \text{ кА}$$

Тепловий імпульс:

$$B_{\text{к}}^{\text{к2}} = (I''_{\text{СК2}})^2 \cdot (\tau_{\text{к.з.}} + T_a) = 3,9^2 \cdot (1,08 + 0,044) = 17 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Перевіряємо переріз КЛ, що живить ТП:

$$S_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_{\text{к}}^{\text{к1}}}}{c} = \frac{\sqrt{17 \cdot 10^6}}{90} = 45,8 \text{ мм}^2 < S_{\text{СТ}}^{\text{кЛ2}} = 50 \text{ мм}^2$$

### 9.3. Коротке замикання в точці К3 на шинах ВН ТП2

Для точки К3 заключний опір:

$$Z_{\text{закл.к3}}^* = \sqrt{(r_{\text{кЛ1}}^* + r_{\text{кЛ3}}^*)^2 + (x_{\text{с}}^* + x_{\text{кЛ1}}^* + x_{\text{кЛ3}}^*)^2} = \\ \sqrt{(0,081 + 0,017)^2 + (0,1 + 0,015 + 0,0012)^2} = 0,15$$

Початкове надперехідне значення періодичної складової струму к.з. від системи:

$$I''_{\text{СК3}} = \frac{1}{Z_{\text{закл.к3}}^*} \cdot I_{\text{б}} = \frac{1}{0,15} \cdot 0,55 = 3,7 \text{ кА}$$

Ударний струм:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I''_{\text{СК3}} = \sqrt{2} \cdot 3,7 \cdot 1,3 = 9,3 \text{ кА}$$

Аперіодична стала часу для системи:

$$T_a^{(c)} = \frac{-0,01}{\ln(k_y - 1)} = \frac{-0,01}{\ln(1,8 - 1)} = 0,044 \text{ с}$$

Аперіодична складова струму к.з.:

$$i_a = \sqrt{2} \cdot I''_{\text{СК3}} \cdot e^{\frac{-\tau_{\text{нв}}}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 3,7 \cdot e^{\frac{-0,08}{0,044}} = 0,78 \text{ кА}$$

Тепловий імпульс:

$$B_{\text{к}}^{\text{к3}} = (I''_{\text{СК3}})^2 \cdot (\tau_{\text{к.з.}} + T_a) = 3,7^2 \cdot (1,08 + 0,045) = 15,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

					Літ.	Аркуш	Аркушів
				ДП 2021 141		43	100

Перевіряємо переріз КЛ, що живить ТП:

$$S_{min} = \frac{\sqrt{B_K^1}}{c} = \frac{\sqrt{15,4 \cdot 10^6}}{90} = 43 \text{ мм}^2 > S_{ст}^{кл1} = 16 \text{ мм}^2$$

Отже попередній переріз не проходить за умовою нагріву, тоді візьмемо найближчий переріз:

$$S_{min} = 43 \text{ мм}^2 < S_{ст}^{кл1} = 50 \text{ мм}^2$$

#### 9.4. Коротке замикання в точці К4 на шинах НН ТП (цех розливу №2).

Розрахунок проводимо в іменованих одиницях. Опори елементів розраховуємо і приведемо їх до номінальної напруги НН ТП, тобто до  $U_{ном}^{HH} = 0,4 \text{ кВ}$ .

Опір контактів для цехових ТП:

$$r_k = 20 \text{ мОм.}$$

Опір системи:

$$x_c = x_c^* \cdot \frac{U_{\delta}^2}{S_{\delta}} \cdot \left( \frac{U_{ном}^{HH}}{U_{ном}^{BH}} \right)^2 \cdot 10^3$$

$$x_c = 0,1 \cdot \frac{10,5^2}{10} \cdot \left( \frac{0,4}{10} \right)^2 \cdot 10^3 = 1,764 \text{ мОм}$$

Опори кабельних ліній, що йдуть від джерела:

$$r_{кл1} = r_0 \cdot \frac{l_{кл}}{n_{кб}} \cdot \left( \frac{U_{ном}^{HH}}{U_{ном}^{BH}} \right)^2 \cdot 10^3 = 0,447 \cdot \frac{2}{1} \cdot \left( \frac{0,4}{10} \right)^2 = 0,0014 \text{ мОм};$$

$$x_{кл1} = x_0 \cdot \frac{l_{кл}}{n_{кб}} \cdot \left( \frac{U_{ном}^{HH}}{U_{ном}^{BH}} \right)^2 \cdot 10^3 = 0,082 \cdot \frac{2}{1} \cdot \left( \frac{0,4}{10} \right)^2 = 0,00026 \text{ мОм};$$

Опір кабельних ліній, що живлять ТП потужністю 1000 кВА:

$$r_{кл2} = r_0 \cdot l_{кл} \cdot \left( \frac{U_{ном}^{HH}}{U_{ном}^{BH}} \right)^2 \cdot 10^3 = 0,625 \cdot 0,02 \cdot \left( \frac{0,4}{10} \right)^2 \cdot 10^3 = 0,02 \text{ мОм};$$

$$x_{кл2} = x_0 \cdot l_{кл} \cdot \left( \frac{U_{ном}^{HH}}{U_{ном}^{BH}} \right)^2 \cdot 10^3 = 0,085 \cdot 0,02 \cdot \left( \frac{0,4}{10} \right)^2 \cdot 10^3 = 0,0037 \text{ мОм.}$$

					Літ.	Аркуш	Аркушів
				ДП 2021 141		44	100

Опір трансформаторів на ТП потужністю 1000 кВА:

$$r_{\text{ТП1}} = \frac{\Delta P_{\text{к}}}{(S_{\text{НОМ}}^{\Gamma})^2} \cdot (U_{\text{НОМ}}^{\text{сп}})^2 \cdot 10^3 = \frac{10 \cdot 10^3}{1000^3} \cdot (0,4)^2 \cdot 10^3 = 1,6 \text{ мОм}$$

$$x_{\text{ТП1}} = \sqrt{(10 \cdot U_{\text{к}})^2 - \frac{\Delta P_{\text{к}}}{(S_{\text{НОМ}}^{\Gamma})^2} \cdot (U_{\text{НОМ}}^{\text{сп}})^2} \cdot 10^3 = \sqrt{(10 \cdot 4,5)^2 - \frac{10 \cdot 10^3}{1000^2} \cdot 0,4^2} \cdot 10^3 = 7,2 \text{ мОм}$$

Сумарні опори:

$$r_{\Sigma} = r_{\text{кл1}} + r_{\text{кл2}} + r_{\text{ТП}} + r_{\text{к}} = 0,0014 + 0,02 + 1,6 + 20 = 21,6 \text{ мОм}$$

$$x_{\Sigma} = x_{\text{с}} + x_{\text{кл1}} + x_{\text{кл2}} + x_{\text{ТП}} = 1,764 + 0,00026 + 0,003 + 7,2 = 9 \text{ мОм}$$

$$z_{\Sigma} = \sqrt{(r_{\Sigma})^2 + (x_{\Sigma})^2} = \sqrt{(21,6)^2 + (9)^2} = 23,4 \text{ мОм.}$$

Початковий струм к.з.:

$$I_{\text{с.кз}}'' = \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot z_{\Sigma}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 23,4} = 9,8 \text{ кА}$$

Ударний струм к.з.:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{\text{с.кз}}'' = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 9,8 = 12,6 \text{ кА.}$$

Розрахунки струмів КЗ заносимо в таблицю 8.

Таблиця 8

№ точки к.з.	Х <sub>р</sub>	І <sub>к.з.</sub>	І <sub>уд</sub>	В	Сст.
	в. о.	кА	кА	А <sup>2</sup> /с	мм <sup>2</sup>
1	0,14	3,9	9,8	17	70
2	0,141	3,9	9,9	17	50
3	0,15	3,7	9,3	15,4	50
4	23,4	9,8	12,6	-	-
5	23,1	9,3	12,2	-	-

## 10. Визначення необхідної потужності компенсуючи пристроїв

Компенсація реактивної потужності є найдешевшим і ефективним засобом підвищення техніко-економічних показників електропостачання, який зменшує всі види втрат електроенергії. Тому і в нашому проекті передбачені компенсуючі пристрої.

Реактивний струм додатково навантажує лінії електропередачі (так як силові обладнання та освітлювальне навантаження розташовані на стороні низької напруги з напругою 0,4 кВ та електричне більш віддалена від джерела живлення) , що призводить до збільшення перерізів проводів і кабелів і відповідно до збільшення капітальних витрат на зовнішні і внутрішньо майданчикові мережі. Реактивна потужність разом з активною потужністю враховується постачальником електроенергії, а отже, підлягає оплаті по тарифах, що діють, тому складає значну частину рахунку за електроенергію.

Найбільш дієвим і ефективним способом зниження споживаної з мережі реактивної потужності є застосування установок компенсації реактивної потужності (конденсаторних батарей, синхронних двигунів і синхронних компенсаторів). За рахунок приєднання до мережі компенсуючого пристрою КП зменшуються втрати потужності і напруги. На практиці коефіцієнт потужності після компенсації знаходиться в межах від 0,93 до 0,99.

Але можна мінімізувати затрати, якщо здійснити компенсацію реактивної потужності безпосередньо в мережі НН.

Відсутність високовольтних споживачів дозволяє нам проводити компенсацію реактивної потужності тільки на низьковольтних КУ.

Так як запланована повна компенсація, обираємо низьковольтні компенсуючі пристрої на ТП та заповнюємо таблицю 9.

					<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
				<i>ДП 2021 141</i>		46	100

Таблиця 9

ТП		$Q_p$	$Q_{p.o}$	$Q_p^\Sigma$	$Q_{кп}$	Тип КП
№	Назва					
1	ТП1	1393,5	70,6	1464,1	2·840=1680	2×УКРМ-0.4-840
2	ТП2	518,2	38,3	556,5	2·280=560	2×УКРМ-0.4-280

За результатами обираємо конденсаторні установки типу УКРМ номінальною потужністю 840 квар на ТП1 та 280 квар на ТП2.

## 11. Вибір обладнання

### 11.1. Вибір основних комутаційних апаратів

Важливою умовою вибору комутаційних апаратів є відповідність умовам середовища де вони встановлені . Номінальні параметри необхідної апаратури (струм, напруга, потужність відключення) повинні відповідати встановленим значенням в режимі нормальної роботи та під час короткого замикання.

Щоб спростити обслуговування та підвищити коефіцієнт надійності встановлюються комплектні трансформаторні підстанції (КТП). Призначення КТП – це прийом, перетворення і розподіл електроенергії трифазного струму частотою 50 Гц і застосовуються для електропостачання всіх видів промислових підприємств.

КТП укомплектовано таким обладнанням:

Таблиця №10.

Назва	КТП -400-1000 81 ячейки КУ-10Ц
$S_{ном}, \text{кВ}\cdot\text{А}$	1000
Тип силового трансформатора	ТМГ1000 / 10
Шафа вводу В	ШВВ - 1
Комутаційний апарат	ВР-3 –10-630
Габарити, мм	1360x1200x2447
Маса, кг	660
Шафа вводу НН	ШНВ(И) - 2УЗ
Комутаційний апарат вводу	DMX-МА32
Кількість ліній, що відходять	6
Габарити КТП, мм	1185x1255x2050

### Сторона ВН комутаційні апарати.

Обираєм вакуумний вимикач ВР3-10 з електромагнітним приводом.

ВР3-10-/630У2

Таблиця №11

Розрахункові дані для КТП – 1000	Допустимі значення
$U_H = 10 \text{ кВ}$	$U_{НОМ} = 10.5 \text{ кВ}$
$I_{\max} = 81 \text{ А}$	$I_{НОМ} = 630 \text{ А}$
$I_{к.з.} = 3,9 \text{ кА}$	$I_{нд} = 20 \text{ кА}$
$\sqrt{2} \cdot I_{0,0} + i_A = \sqrt{2} \cdot 3,9 + 0,23 = 5,7 \text{ кА}$	$i_{дин} = 31,5 \text{ кА}$
$i_{уд} = 9,9 \text{ кА}$	$I_{дин} = 20 \text{ кА}$
$W_k = 17 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_{\tau}^2 \cdot \tau$ не нормується

На КТП -400 теж обираєм вимикач вакуумний ВР2-10-31,5/630.

### Сторона НН комутаційні апарати.

Вимикач вводу НН та секційний вимикач на КТП - 1000.

DMX-MA32 [5] КТП 1000

дані	Допустимі значення
$U_H = 0,4 \text{ кВ} = U_{ном.а.} = 0,4 \text{ кВ}$	
$I_p = 2023 \text{ А} < I_{ном.роз.} = 3200 \text{ А}$	
$I_{к.з.} = 9,8 \text{ кА} < I_{відкл.} = 100 \text{ кА}$	
$I_{ном АВ} = 3200 \text{ А} = I_{ном.роз.} = 3200 \text{ А}$	

Вимикач вводу НН та секційний вимикач на КТП - 400.

DMX-MA12 [5] КТП 400

Таблиця №14.

Розрахункові дані	Допустимі значення
$U_H = 0,4 \text{ кВ} = U_{\text{ном.а.}} = 0,4 \text{ кВ}$	
$I_p = 809 \text{ А} < I_{\text{ном.роз.}} = 1250 \text{ А}$	
$I_{\text{к.з.}} = 9,3 \text{ кА} < I_{\text{відкл.}} = 50 \text{ кА}$	
$I_{\text{ном АВ}} = 1250 \text{ А} = I_{\text{ном.роз.}} = 1250 \text{ А}$	

$$I_{\text{мах}} = \frac{K_{\text{пал}} \cdot S_{\text{ном.т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} \quad I_{\text{мах}(1000)} = \frac{1,4 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 2023 \quad I_{\text{мах}(400)} = \frac{1,4 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 809$$

## 11.2. Вибір обладнання низької напруги

На стороні НН запланованої системи електропостачання цеху №2 вибираємо автоматичні вимикачі від струмів короткого замикання, за допомогою яких ми будемо комутувати мережу та захищати її від струмів КЗ.

Відповідні розрахунки наведено в розділі 14.

## 12. Вибір вимірювальних трансформаторів струму та напруги

На кабельних лініях 10 кВ, що відходять до трансформаторів ТП (цеху розливу №2) встановлюємо трансформатор струму ТОЛ-10 з  $I_{НОМ} = 50$  А, клас точності 0,5, номінальне навантаження вторинної обмотки  $Z_{2н} = 0,4$  Ом.

Вибір трансформатора струму типу ТОЛ-10:

Таблиця 15

Паспортні дані трансформатора ТФЗМ – 35А	Умова	Розрахункові значення
$U_{НОМ} = 10$ кВ	$\geq$	$U_{НОМ..} = 10$ кВ
$I_{НОМ1} = 50$ А	$\geq$	$I_{МАКС} = 23,1$ А
$i_{ДИН} = 12,8$ кА	$\geq$	$i_{УД} = 9,8$ кА
$I_{\tau}^2 \cdot \tau = 400$ кА <sup>2</sup> с	$\geq$	$B_K = 17$ кА <sup>2</sup> с

Таблиця 16

Прилад	Тип приладу	Ф."А", ВА	Ф."В", ВА	Ф."С", ВА
Амперметр	Э - 365	-	0.5	-
Лічильник активної та реактивної енергії	НИК 2300	3.6	3.6	3.6
Разом		3,6	4.1	3,6

Визначаємо опір найбільш завантаженої фази:

$$Z_{\Sigma \text{ПРИЛ}} = \frac{S_{\Sigma \text{ПРИЛ}}}{I_{НОМ.2}^2} = \frac{4.1}{5^2} = 0.164 \text{ Ом.}$$

Максимальне значення опору проводів, що з'єднують трансформатор струму при його роботі з приладами в заданому класі точності :

$$Z_{\text{прил}} = Z_{НОМ//2} - Z_{\Sigma \text{прил}} - Z_K$$

					Літ.	Аркуш	Аркушів
				ДП 2021 141		51	100

де  $z_{\Sigma \text{ПРИЛ}}$  – максимальний струмовий опір котушок приладів найбільш завантаженої фази;

$z_{\text{НОМ.2}}$  - номінальний опір вторинної обмотки ( $z_{\text{НОМ.2}} = 0.4 \text{ Ом}$ );

$z_K$  - опір контактів ( $z_K = 0,05 \text{ Ом}$ ).

$$z_{\text{ПРИЛ}} = 0.4 - 0.164 - 0.05 = 0.186 \text{ Ом} .$$

Мінімальний переріз з'єднувальних проводів

$$S_{\text{МИН}} = \frac{\rho \cdot l_P}{z_{\text{ПР}}} = \frac{0,028 \cdot 50 \cdot \sqrt{3}}{0,186} = 13,02 \text{ мм}^2 .$$

Найближчий стандартний переріз  $16 \text{ мм}^2$ .

Перерахунок опору з'єднувальних

проводів :

$$z_{\text{МИН}} = \frac{0,028 \cdot 50 \cdot \sqrt{3}}{16} = 0,15 \text{ Ом} .$$

Розрахунок навантаження лінії :

$$z_P = z_{\text{ПРИЛ}} + z_{\text{ПР}} + z_K = 0.186 + 0.164 + 0.05 = 0.4 \text{ Ом} .$$

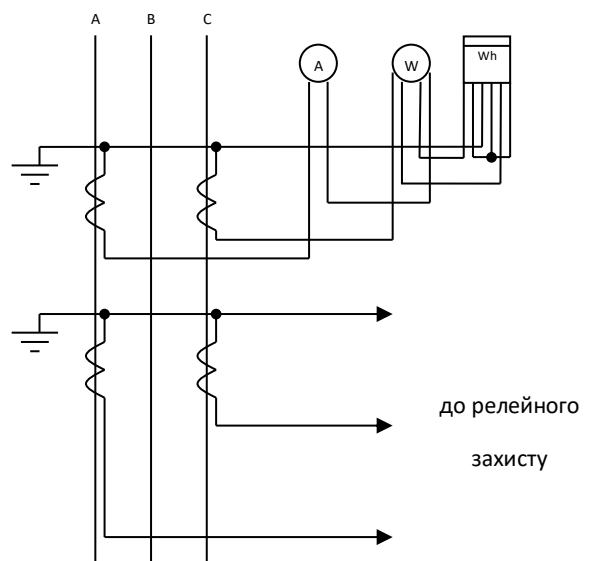
Оскільки номінальне навантаження трансформатора струму більше ніж розрахункове:

$$z_{\text{НОМ}} \geq z_{\text{РОЗ}}, [\text{Ом}]$$

$$0.4 \text{ Ом} \geq 0.4 \text{ Ом},$$

то вибраний трансформатор струму працюватиме в даному класі точності .

**Схема підключення вимірювальних трансформаторів струму**



## Вибір вимірювального трансформатора напруги

Включаємо вимірювальний трансформатор напруги типу 3×ISV1F-1.1.1-10000√3//100: √3/100:3-50/0,5-150/6P (для живлення лічильників, вольтметрів та пристроїв релейного захисту).

Для зниження високої напруги до стандартного значення – 100 або  $\sqrt{3} \cdot 100$ , від первинних кіл високої напруги для кіл вимірювання та релейного захисту, застосовують вимірювальний трансформатор напруги.

Паспортні дані 3×ISV1F-1.1.1-10000√3//100: √3/100:3-50/0,5-150/6P:

$$U_{НОМ1} = 10 \text{ кВ}$$

$$U_{НОИМ2} = 100 \text{ В}$$

$$S_{НОМ2} = 300 \text{ В А}$$

Встановлюємо трансформатори напруги на кожній секції збірних шин 10кВ.

Умова роботи вимірювального трансформатора напруги в класі точності 0.5

$$S_{НОМ2} \geq S_P, [\text{ВА}].$$

Таблиця 17

Прилад	Тип приладу	Потужність однієї котушки, В А	Кількість приладів,шт	Сумарна потужність В А
Ватметр	Д-305	2	1	4
Лічильник активної та реактивно енергії	NIK 2300	3,6	3	10,8
Вольтметр	Э-365	2	1	2
Разом				16,8

Сумарне навантаження вторинних обмоток вимірювального трансформатора напруги.

$$S_{\Sigma 2} = S_{ПР} + S_{P.3}, [\text{В А}],$$

де  $S_{ПР}$  – навантаження приладів;

$S_{P.3}$  – навантаження оперативних кіл.

				ДП 2021 141	Літ.	Аркуш	Аркушів
						53	100

$$S_{\Sigma 2} = 16,8 + 20 = 36,8 \text{ В А.}$$

Оскільки, умова:

$$S_{\text{ном}2} = 300\text{ВА} \geq S_p = 36,8 \text{ ВА,}$$

Отже ці трансформатори напруги підходять за умовою перенавантаження і будуть встановлені.

Втрати напруги в з'єднувальних провідів.

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_N \cdot z_{\text{ПР}}}{U_{N2}} \cdot 100\% \leq 0,5\%$$

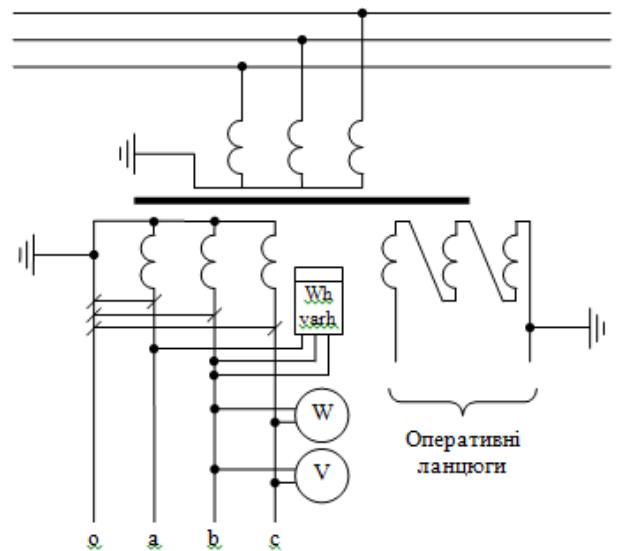
$$\text{де } I_N = \frac{S_{\Sigma 2}}{U_N} = \frac{36,8}{100} = 0,37 \text{ А}$$

$$z_{\text{ПР}} = \frac{\rho \cdot l_P}{S_{\text{СТ}}} = \frac{0,028 \cdot 30}{16} = 0,05 \text{ Ом;}$$

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,37 \cdot 0,05}{100} \cdot 100\% = 0,03\% \leq 0,5\%$$

Так як  $\Delta U \leq 0,5\%$ , то приймаємо провід стандартним.

Схема підключення оперативних ланцюгів та приладів до трансформатора напруги



### 13. Релейний захист і автоматика

Обираючи тип релейного захисту (РЗ) потрібно враховувати, що, основним призначенням релейного захисту є виявлення місця виникнення короткого замикання і швидке автоматичне відключення вимикачів ушкодженого устаткування або ділянки мережі від іншої неушкодженої частини електричної установки або мережі.

Другим призначенням релейного захисту є виявлення порушення нормальних режимів роботи устаткування і подача попереджувальних сигналів обслуговуючому персоналу або відключення устаткування з витримкою часу.

Крім ушкоджень електричного устаткування, можуть виникати такі порушення нормальних режимів роботи, як перевантаження, замикання на землю однієї фази в мережі з ізольованою нейтраллю, виділення газу в результаті розкладання олії в трансформаторі або зниження рівня олії в його розширнику.

Джерелом живлення релейного захисту та автоматики, управління вимикачами, аварійної і попереджувальної сигналізації вибираємо постійний струм на номінальну напругу 220 В. Для більшої надійності мережа живлення оперативним струмом відповідних пристроїв ділиться на різні ділянки, щоб при пошкодженнях однієї не тягнуло за собою збій в роботі інших ділянок.

Існує декілька категорій споживачів постійного оперативного струму згідно ступенів їх відповідності. Найбільш відповідальними із споживачів є ланцюги оперативного струму релейного захисту, автоматики та управління вимикачами.

Обираючи джерело оперативного струму потрібно знати що постійний оперативний струм від акумуляторних батарей використовується на потужних підстанціях при наявності масляних вимикачів великої потужності, а також тоді, коли акумуляторні батареї необхідні крім живлення кіл оперативного струму для інших потреб (наприклад, на заводських ТЕЦ і т. ін.).

					<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
				<i>ДП 2021 141</i>		55	100

Частіше застосовують змінний оперативний струм. Джерелом змінного оперативного струму можуть бути вимірювальні трансформатори струму, напруги та власних потреб. Трансформатори струму можуть бути надійними джерелами живлення захистів тільки від пошкоджень, що супроводжуються значними струмами, коли вони в змозі віддавати потужність, достатню крім усього для роботи приводу вимикача (при однофазних замиканнях на землю не підходять).

Трансформатори власних потреб і трансформатори напруги в загальному випадку, навпаки, непридатні для живлення захистів від КЗ, що супроводжуються зниженням напруги до нуля, і можуть застосовуватися для управління в режимах, що характеризуються напругою близькими до робітників (наприклад, однофазне замикання на землю).

Коли відсутня як напруга, так і струм для живлення кіл захисту /наприклад, у паузу -АПВ/ використовують схеми з попередньо зарядженими конденсаторами. Зарядка конденсаторів здійснюється через зарядний пристрій від трансформаторів напруги чи власних потреб. Ці пристрої придатні для вимикання вимикачів практично з будь-якими приводами. Але є і недоліки- імпульсність дії, що робить неможливим їх застосування для живлення елементів, які працюють зі значним уповільненням. Найчастіше їх призначення- для вимкнення вимикачів і віддільників.

Джерелом випрямного оперативного струму використовуються випрямляючі блоки живлення, що живляться від трансформаторів струму, трансформаторів напруги та трансформаторів власних потреб, що випрямляють струм, напруга і забезпечують напругу, яка використовується для оперативних ланцюгів. Поділяються випрямлячі блоки живлення на струму, напруги та комбіновані. Джерела випрямленого змінного струму можуть використовуватися для живлення захистів, що реагують на будь-які види пошкоджень і ненормальні режими роботи. Недоліками таких блоків є недостатня потужність для живлення котушок включення електромагнітних

					<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
				<i>ДП 2021 141</i>		56	100

приводів і одночасного вимкнення кількох вимикачів а також неможливість їх використання при вимкненні джерела живлення.

При виборі схеми релейного захисту треба керуватися типовим схемними рішеннями. Проте слід пам'ятати про особливості конкретного РЗ, що накладаються використовуваною комутаційною апаратурою, фактичне джерело оперативного струму, віддаленість підстанції від джерела живлення тощо.

Правильний вибір струмів спрацьовування захистів визначається типом захистів і вимогами, що ставляться до її чутливості й надійності. Наприклад, для спрацювання вибирається з умов відстроювання від кидків струму намагнічування при вмиканні трансформатора й небалансу за зовнішніх коротких замикань. Струм спрацьовування максимального струмового захисту відстроюється від максимальних струмів навантаження.

Витримка часу максимального струмового захисту вибирається з умови узгодження із захистом попередньої ділянки. При узгодженні із захистом, що має незалежну витримку часу, ступінь часу обирається 0,35...0,6 с при узгодженні із захистом, що має залежну характеристику, - 0,6 ...1 с. При узгодженні зі швидкодіючим захистом ступінь часу обирається 0,35...0,4 с.

Відповідальну роль по забезпеченню надійної роботи електромереж грає правильна настройка релейного захисту та протиаварійної автоматики і в тому числі правильний вибір робочих параметрів спрацювання (уставок) релейної апаратури.

При більш глибокому вивченні релейного захисту і автоматики знижувального трансформатора, зрозумієм, що він повинен мати максимальний струмовий захист від надструмів, який узгоджується за струмом і часом з усіма наступними елементами схеми. Силовий трансформатор (маючи максимальний струмовий захист від надструмів), має вмикатися при пошкодженні на стороні вищої напруги, так як має і газовий захист. Також встановлюють захист трансформатора від перевантаження, який діє на сигнал з витримкою часу більшою за витримку часу інших захистів на об'єкті, як

					<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
				<i>ДП 2021 141</i>		57	100

правило , 8...10с, коли на підстанції присутній черговий персонал або попереджувальні і аварійні сигнали передаються на черговий пункт.

### Максимальний струмовий захист

Максимальний струмовий захист (МСЗ)- Вважається простим, але надійним і застосовується для захисту трансформаторів.

Визначаємо номінальний струм на стороні 10 кВ:

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10} = 23,1 \text{ А}$$

Для трансформаторів струму коефіцієнт трансформації 50/5, схема захисту неповна зірка;  $K_{\text{СХ}}=1$ .

Максимальний номінальний струм на стороні 10 кВ:

$$I_{\text{МАХ}} = \frac{1,4 \cdot S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{1,4 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 10} = 32,3 \text{ А}$$

Струм спрацювання захисту:

$$I_{\text{СЗ}} = \frac{K_{\text{Н}} \cdot I_{\text{МАХ}} \cdot K_{\text{СЗП}}}{K_{\text{П}}} = \frac{1,2 \cdot 32,3 \cdot 1,5}{0,92} = 63 \text{ А}$$

де  $K_{\text{Н}}=1,2$ -коефіцієнт надійності;

$K_{\text{СЗП}}=1,5$ -коефіцієнт самозапуску;

$K_{\text{П}}=0,92$ -коефіцієнт повернення реле.

Чутливість захисту при короткому замиканні на своїй ділянці:

$$K_{\text{Ч}} = \frac{I_{\text{k min}}}{I_{\text{СЗ}}} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 372}{63} = 5,1 > 2,$$

$$I_{\text{k min}} = I_{\text{к.з.}} \cdot \frac{U_{\text{НН}}}{U_{\text{ВН}}} = 9300 \cdot \frac{0,4}{10} = 372 \text{ А}$$

$I_{\text{k min}}$  - мінімальне значення струму при короткому замиканні на високій стороні напруги трансформатора.

Уставка реле струму:

$$I_{\text{СР}} = \frac{I_{\text{СЗ}} \cdot K_{\text{СХ}}}{K_{\text{Т,ТС}}} = \frac{63 \cdot 1}{10} = 6,3 \text{ А}$$

Обираємо одне реле АЛ-3-В [6] в витримкою часу 0,1-99 с.

					Літ.	Аркуш	Аркушів
				ДП 2021 141		58	100

Установка часу захисту (реле):

$$t_{сз1} = t_{макс} + \Delta t.$$

$$\Delta t = 0,32 + 0,08 + 0,1 \approx 0,4 \text{ с},$$

де 0,32- реле АЛ-3-В; 0,08 - час до згасання дуги на контактах вимикача; 0,1- запас часу.

Тоді  $t_{сз1} = 1,2 + 0,4 = 1,6 \text{ с};$

$$t_{сз2} = 1,6 + 0,4 = 2 \text{ с}.$$

### Розрахунок миттєвого діючого струмового захисту (відсічки)

Відсічка – найпростіший з диференційних захистів трансформаторів, досягається підбиранням необхідного струму спрацювання захисту. Вона виконується за допомогою максимальних реле струму. За допомогою невеликої витримки відбувається відстройка захисту від піку струму намагнічування. Справа в тому, що пік миттєвого значення струму намагнічення швидко знижується від початкового рівня  $(6...8)I_{ном}$  до  $(2...3)I_{ном}$  усього за 0,04...0,06 с. Приблизно такий самий час потрібен для спрацювання реле типу АЛ-1, з запасом 1,5 разів:

$$I'_{сз} = 4,5 \cdot I_{макс} = 4,5 \cdot 32,3 = 145,4 \text{ А}$$

$$I''_{сз} = K_{від} \cdot I_{к5} \cdot \frac{U_{нн ном}}{U_{вн ном}} = 1,2 \cdot 9300 \cdot \frac{0,4}{10} = 446,4 \text{ А}$$

З двох значень  $I_{сз}$  обираємо найбільше.

$$I_{сз} = I_{сз''} = 464,4 \text{ А}.$$

Вибір такого великого струму  $I_{сз}$ , як завжди, забезпечує також відстройку й від режиму зовнішнього короткого замикання.

Перевіримо коефіцієнт чутливості:

$$K_{ч} = \frac{I_{к min}}{I_{сз}} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 3930}{464,4} = 7,32 > 2,$$

Знаходимо вторинний струм:

$$I_{сп} = \frac{I_{сз} \cdot K_{сх}}{K_{т,тс}} = \frac{464,4 \cdot 1}{10} = 46,4 \text{ А}$$

					Літ.	Аркуш	Аркушів
				ДП 2021 141		59	100

Оскільки  $K_{\text{ч}} > 2$  то приймаємо струмову відсічку.

### Захист від перевантажень

Беремо для захисту сучасне і недороге АЛ-3-В.

Струм спрацювання сигналізації:

$$I_{\text{сс}} = \frac{K_{\text{від}} \cdot K_{\text{сх}}}{K_{\text{п}}} \cdot I_{\text{макс}} = \frac{1,05 \cdot 1}{0,92} \cdot 32,3 = 36,8 \text{ А}$$

Струм спрацювання реле:

$$I_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{сс}} \cdot K_{\text{сх}}}{K_{\text{т,тс}}} = \frac{36,8 \cdot 1}{10} = 3,7 \text{ А}$$

Час спрацювання сигналізації:

$$t_{\text{сс}} = t_{\text{сз}}^{\text{МСЗ}} + \Delta t = 2 + 0,4 = 2,4 \text{ с,}$$

де  $\Delta t = 0,4 \text{ с}$ - ступінь селективності.

Заповнимо таблицю з результатами розрахунків:

Струм спрацювання		Коефіцієнт	Час спрацювання захисту
захисту	реле		
$I_{\text{сз}}$	$I_{\text{ср}}$	$K_{\text{ч}}$	$t_{\text{сз}}$
А	А	-	с
Відсічка			
464,4	46,4	7,32	-
Максимальний струмовий захист ( МСЗ )			
63	6,3	5,1	2
Захист від перевантажень ( з дією на сигнал )			
36,9	7,3	-	2,4

## 14. Розрахунок цехової силової мережі

Проведемо розрахунок для обладнання, яке встановлюється в цеху №2.

Проведемо розрахунок на прикладі вибору струмоведучого елемента до вентилятора, номінальна потужність якого складає 11 кВт, коефіцієнт потужності  $\cos\varphi = 0,75$ .

Номінальний струм насоса:

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \eta_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi_{\text{ном}}} = \frac{11}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,9 \cdot 0,75} = 25 \text{ A}$$

Піковий струм вентилятора:

$$I_{\text{пik}} = k_{\text{п}} \cdot I_{\text{ном}} = 6,5 \cdot 25 = 162,5 \text{ A},$$

де  $k_{\text{п}} = 6,5$  – кратність пускового струму для вентиляторів.

Умови вибору автоматичних вимикачів:

$$U_{\text{ном АВ}} \geq U_{\text{ном мер}};$$

$$I_{\text{ном розч}} \geq I_{\text{ном}};$$

$$I_{\text{ном АВ}} \geq I_{\text{ном розч}};$$

$$I_{\text{спрац}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{пik}}$$

Вибираємо автоматичний вимикач серії РКЗМ4-32 до кожного електроприймача.

Таблиця 18

№	Паспорт	Умова	Мережа
1	$U_{\text{ном АВ}} = 380 \text{ В}$	=	$U_{\text{ном}} = 380 \text{ В}$
2	$I_{\text{ном розч}} = 32 \text{ А}$	>	$I_{\text{ном}} = 25 \text{ А}$
3	$I_{\text{ном АВ}} = 63 \text{ А}$	>	$I_{\text{ном розч}} = 32 \text{ А}$
4	$I_{\text{спрац}} = 448 \text{ А}$	>	$1,25 \cdot I_{\text{пik}} = 1,25 \cdot 162,5 = 199 \text{ А}$
<b>РКЗМ4-32</b>			

Переріз провідників у цехових мережах визначають за умов :

1) за умовою нагріву розрахунковим струмом

$$I_{\text{пр}} \geq \frac{I_{\text{р}}}{k_{\text{прок}}} = \frac{25}{1} = 25 \text{ А}$$

2) за умовою відповідності апаратові максимального струмового захисту (приміщення з нормальними умовами)

$$I_{\text{пр}} \geq \frac{I_3 \cdot k_3}{k_{\text{прок}}} = \frac{32 \cdot 1}{1} = 32 \text{ А}$$

де  $I_3$  – номінальний струм апарату захисту (для АВ – номінальний струм розчеплювача);

$k_3 = 1$  – коефіцієнт захисту, який враховує умови середовища;

$k_{\text{прок}} = 1$  – коефіцієнт прокладки, який враховує умови прокладки провідників.

Переріз провідника вибирається виходячи з більшого значення струму провідника  $I_{\text{пр}}$ .

За даними таблиці 3.15 [1] приймаємо провід типу АВВГ- 10×3 із допустимим струмом  $I_{\text{доп}} = 38 \text{ А}$ .

Приймаємо магнітний пускач типу ПМА-40 за такими умовами:

$$U_{\text{ном}} = 380 \text{ В} = U_{\text{ном мер}} = 380 \text{ В};$$

$$I_{\text{ном}} = 50 \text{ А} > I_{\text{ном розр}} = 50 \text{ А};$$

Для теплового захисту беремо теплове реле типу ТРН40. Умова вибору теплового реле:

$$I_{\text{ном т.р.}} = 50 \text{ А} > I_{\text{ном}} = 25 \text{ А}.$$

Для всіх споживачів цеху №2 розраховуємо так само. Результати розрахунків заносимо в табл.19

				ДП 2021 141	Літ.	Аркуш	Аркушів
						62	100

Дані споживачів								Автоматичний вимикач			Провід АБВГ				Пускач магнітний			Тепловий захист		
№	Назва	$P_{НОМ}$	Кількість	$\frac{\cos \varphi_{НОМ}}{\operatorname{tg} \varphi_{НОМ}}$	$\eta_{НОМ}$	$I_{НОМ}$	$I_{ПК}$	ТИП	$I_{НОМ Р}$	$I_{НОМ АВ}$	$I_{СПРАЦ}$	Пере-різ мм <sup>2</sup>	$\frac{K_3 I_3}{K_{прок}}$	$\frac{I_{НОМ}}{K_{прок}}$	$I_{ДОП}$	ТИП	$I_{НОМ}$	$P_{НОМ}$	ТИП	$I_{НОМ}$
		кВт			%	А	А		А	А	А		А	А			кВт	А		
1	Вентилятор	7,5	1	0,75/0,88	0,9	17,05	102,3	PKZM4	20	25	350	4×3	20	17,05	21	ПМА	25	11	ТРН-25	25
2	Компресор	22	1	0,8/0,75	0,9	46,6	279,6	PKZM4	50	63	700	16×3	50	46,6	55	ПМА	63	11	ТРН-40	50
3	Вентилятор	5,5	1	0,75/0,88	0,9	12,5	75	PKZM0	16	63	224	3×3	16	12,5	18	ПМА	25	11	ТРН-25	25
4	Вентилятор	11	2	1,5/1,76	0,18	50	325	PKZM4	32	63	448	10×3	32	25	38	ПМА	40	11	ТРН-40	50
5	Резервний	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблиця 19

Виходячи з отриманих даних обираємо зборку ПР-11 з максимальним допустимим струмом  $I_{руб}=160$  А, що складається з 6 приєднаних ліній (одна з них резервна). Робимо перевірку за струмами:

$$I_{руб}=160 \text{ А} \geq I_p = 17,05+46,6+12,5+25+25 = 126,15 \text{ А}$$

Для того, щоб обрати кабель, що підходить до РП, необхідно визначити розрахункову потужність

Таблиця 20

№	Назва	$P_{ном}$	n	$K_B$	$\frac{\cos \varphi}{\text{tg} \varphi}$	$P_{см}$	$Q_{см}$	$n_e$	$K_M$
1	Вентилятор	7,5	1	0,7	0,75/0,88	5,3	4,6		
2	Компресор	22	1	0,65	0,8/0,75	14,3	10,7		
3	Вентилятор	5,5	1	0,7	0,75/0,88	3,9	3,4		
4	Вентилятор	22	2	1,4	1,5/1,76	15,4	13,6		
ΣРП		57		0,7		38,9	32,3	5,2	1,25

Ефективна кількість електроприймачів:

$$n_e = \frac{2 \cdot P_{\Sigma ном}}{P_{ном}^{max}} = \frac{2 \cdot 57}{22} = 5,2$$

Коефіцієнт максимуму з [1, табл. 2.1], застосовуючи інтерполяцію:

$$K_M = 1,25$$

Груповий коефіцієнт використання електроприймачів:

$$K_B = \frac{\Sigma P_{см}}{\Sigma P_{ном}} = \frac{38,9}{57} = 0,7$$

Розрахункова потужність:  $P_{розр} = P_{\Sigma см} \cdot K_M = (38,9 \cdot 1,25) = 48,6$  кВт

Так як  $n_e = 5,2 < 10$ , то реактивна складова визначається так:

$$Q_{розр} = 1,1 \cdot Q_{\Sigma см} = 1,1 \cdot 32,3 = 35,5 \text{ кВАр}$$

Повна розрахункова потужність:

$$S_{\text{розр}} = \sqrt{P_{\text{розр}}^2 + Q_{\text{розр}}^2} = \sqrt{48,6^2 + 35,5^2} = 60 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

Розрахунковий струм:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{60}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 91 \text{ А}$$

Піковий струм:

$$I_{\text{пік}} = I_p + (I_p - \kappa_B \cdot I_{\text{ном}}) = 5 \cdot 46,6 + (91 - 0,65 \cdot 46,6) = 294 \text{ А}$$

Вибираємо автоматичний вимикач типу ВА04-31Про за такими умовами:

№	Паспорт	Умова	Мережа
1	$U_{\text{ном АВ}} = 380 \text{ В}$	=	$U_{\text{ном}} = 380 \text{ В}$
2	$I_{\text{ном розч}} = 100 \text{ А}$	>	$I_{\text{ном}} = 91 \text{ А}$
3	$I_{\text{ном АВ}} = 160 \text{ А}$	>	$I_{\text{ном розч}} = 100 \text{ А}$
4	$I_{\text{спрац}} = 1250 \text{ А}$	>	$1,25 \cdot I_{\text{пік}} = 1,25 \cdot 294 = 367,5 \text{ А}$
ВА04-31Про			

Переріз кабелю обираємо за відомими даними:

1) за умовою нагріву розрахунковим струмом

$$I_{\text{пр}} \geq \frac{I_p}{\kappa_{\text{прок}}} = \frac{91}{1} = 91 \text{ А}$$

2) за умовою відповідності апаратові максимального струмового захисту

$$I_{\text{пр}} \geq \frac{I_3 \cdot \kappa_3}{\kappa_{\text{прок}}} = \frac{100 \cdot 1}{1} = 100 \text{ А}$$

Обираємо переріз провідника з більшого значення струму провідника  $I_{\text{пр}}$ .

Отже, виходячи з вищезазначеного приймаємо кабель типу АВВГнг- 50×3 із допустимим струмом  $I_{\text{доп}} = 105 \text{ А}$ .

Для інших груп РП робимо аналогічні розрахунки.

					Літ.	Аркуш	Аркушів
				ДП 2021 141		65	100

## 15. Розрахунок електроосвітлення лінії розливу №2

Коли розробляють освітлювальні мережі вибирають:

- а) джерело світла;
- б) освітленість та коефіцієнт запасу;
- в) системи та види освітлення;
- г) світильники, їх розташування та висоту підвісу;
- д) визначають встановлену освітлювальну потужність цеху.

Освітлювальна установка (ОУ) повинна відповідати нормам ДБН В2.5-28:2018 і забезпечувати нормальне та безпечне освітлення впродовж всього виробничого процесу. Фактором якості освітлювальної установки являється гарна уявність предметів, які освітлюються.

Існують обов'язкові для всіх організацій правила та норми влаштування штучного освітлення. Вони визначають розміри найменшої освітленості в залежності від розміру об'єктів розміщення, ступеню контрасту предметів, що розглядаються, розряд виконуючих робіт.

Розглянемо розрахунок освітлення приміщення лінії розливу №2.

Приміщення знаходиться на відмітці 0,000.

*Вихідні дані:*

Площа приміщення цеху :  $S = A \cdot B = 20,5 \cdot 25 = 512,5 \text{ м}^2$ .

Норма освітленості, створюваної світильниками загального освітлення при комбінованій системі для наших цехів  $E_n = 200 \text{ лк}$  (табл. В.3).

Висота приміщення :  $h_p = 3,0 \text{ м}$ .

Для нашого цеху, через присутність пилу, коефіцієнти відбиття стелі  $\rho_n$  (чиста бетонна стеля), стін  $\rho_c$  (бетонні стіни) і робочої поверхні (підлога)  $\rho_p$  рівні відповідно: 0,7; 0,5 і 0,3.

Клас приміщення при пожежонебезпеці та вибухонебезпечні П-Па. Вибираємо джерелом освітлення люмінесцентні лампи (ЛЛ) низького тиску типу ЛБ з паспортним значенням світлового потоку

$$\Phi = 3200 \text{ лм.}$$

					Літ.	Аркуш	Аркушів
				ДП 2021 141		66	100

Коефіцієнт запасу ОУ з ЛЛ:  $K = 1,4$ .

Коефіцієнт запасу на нерівномірність освітлення з ЛЛ:  $z = 1,1$ .

Вибираємо тип світильника ЛСП 002(з люмінесцентними лампами, умовний захисний кут  $90^\circ$  - як в поперечному, так і в поздовжньому перетині.)

Крива сили світла типу:  $\Gamma - 1$ .

Розраховуємо індекс приміщення:

$$i = \frac{(a \cdot b)}{h_p \cdot (a+b)} = \frac{(20,5 \cdot 25)}{3,0 \cdot (20,5+25)} = 3,7$$

З ряду табличних значень індексу приміщення вибираємо значення  $i = 4,7$ .

Для наших відбиваючих властивостей приміщення та типом кривої сили світла  $\Gamma-1$  для вибраного типу світильника коефіцієнт використання ОУ :  $\eta = 0,4$ .

Відстань між світильниками:

$$L = \lambda \cdot h_p = 1,3 \cdot 3,0 = 3,9 \text{ м,}$$

$\lambda$  - відношення відстані між світильниками до висоти.

Тоді число рядків буде:

$$N = \frac{b-L}{L} = \frac{25-3,9}{3,9} = 5,4 \text{ рядів}$$

Округлюючи до більшого числа вибираємо 6 рядів світильників.

Проводимо розрахунок потужності ОУ з ЛЛ при числі рядків, який дорівнює шести для вибраних типах ламп світильників. Світловий потік одного рядка буде складати:

$$\Phi' = \frac{a \cdot b \cdot k \cdot i \cdot E_n}{N \cdot \eta} = \frac{20,5 \cdot 25 \cdot 1,4 \cdot 3,7 \cdot 200}{6 \cdot 0,4} = 221229 \text{ лм.}$$

Розрахункова кількість світильників в рядку:

$$n_{\text{св}} = \frac{\Phi'}{\Phi} = \frac{221229}{3200} = 69$$

Кожен ряд буде складатися з 69 світильників. Розрахунок фактичного освітлення:

$$E_{\text{розр}} = \frac{\Phi_{\text{л}} \cdot N \cdot n_{\text{св}} \cdot \eta}{k \cdot i \cdot a \cdot b} = \frac{3200 \cdot 6 \cdot 69 \cdot 0,4}{1,4 \cdot 3,7 \cdot 20,5 \cdot 25} = 199,6 \text{ лк}$$

					Літ.	Аркуш	Аркушів
				ДП 2021 141		67	100

Похибка буде складати:

$$v = \frac{199,6-200}{200} \cdot 100\% = - 0,2 \%$$

Входить в допустимі межі (від – 10 % до + 20 %), отже залишаємо п'ять рядів світильників ЛСП-02-2 ×40.

### 15.1. Розрахунок електроосвітлювальної мережі

Переріз проводів освітлювальної мережі повинен задовольняти наступним вимогам:

1. Проводи повинні пропускати струм освітлювального навантаження не нагріваючись зверху припущених температур - розрахунок за струмом навантаження.

2. Напруга на контактах ламп не повинна бути нижче визначеної величини - розрахунок за втратою напруги.

Як приклад розглянемо розрахунок електроосвітлювання мережі для групи світильників світильників ЛСП 2х40.

Розрахунковий струм ( $I_p$ ) визначаємо виходячи з встановленої потужності всіх світильників розглядаємої ділянки  $P_y = 25кВт$  та напруги мережі на цій ділянці, застосовується трьохфазна чотирьох провідна лінія. Живлення освітлювальної мережі здійснюється від двох групових щитів освітлення ЩО та ЩОА.

$$I_p = 25 / 0,38 = 65,7 \text{ A.}$$

Обираємо марку проводу АВРГ 3х35.

Розрахунок за втратою напруги виконуємо для нормального режиму горіння ламп, оптимальної їх світловіддачі при гарантованому терміні служби.

Зниження напруги у найвіддаленіших ділянках для внутрішнього робочого освітлення, згідно ПУЕ, не має перевищувати 25% номінального.

$$n_{\%} = \frac{P_p \cdot l}{c \cdot S}$$

де  $P_p$  - розрахункове навантаження кВт;

$S$  - обраний переріз кабелю, мм<sup>2</sup>;

$l$  - довжина розрахункової ділянки, м;

				ДП 2021 141	Літ.	Аркуш	Аркушів
						68	100

$c$  - залежить від напруги та системи мережі (стала величина)

$$c = 43,0.$$

Для ЛЛ:

$$P_p = K_3 \cdot P_y = 1 \cdot 25 = 25 \text{ кВт.}$$

$K_3$  - коефіцієнт споживання.

Тоді:

$$v\% = \frac{25 \cdot 70}{43 \cdot 35} = 1,1$$

Значення в межах нормованого значення.

В групових мережах при струмах до 6А та напрузі до 250 В ставлять вимикачі.

				ДП 2021 141	Літ.	Аркуш	Аркушів
						69	100

## 16. Індивідуальне завдання.

### Оцінка ефективності застосування частотного електропривода в насосному господарстві підприємства

Енергія, і зокрема електрична, є одним з найважливіших продуктів індустріальному суспільстві. Дослідження показали, що середній прибуток, тривалість життя та інші важливі фактори рівня життя пов'язані зі споживанням електроенергії на душу населення в окремому регіоні чи в країні в цілому. Як і всі природні ресурси, енергетичні ресурси можуть виснажитися, тому важливо заощаджувати якомога більшу кількість енергії.

Більшість електродвигунів працюють у нерегульованому режимі, а отже – з низькою ефективністю. Через недоліки проектування й експлуатації електропривода коефіцієнт завантаження багатьох двигунів не перевищує 50%, що вимагає зниження встановленої потужності двигунів. Робота привода в недовантаженому режимі призводить до величезних втрат, не враховуючи зниженого значення коефіцієнта потужності.

Прогрес у напівпровідниковій індустрії, особливо в силовій електроніці і мікроконтролерах, зробив приводи з регулюванням частоти обертання більш практичними і значно дешевшими. На сьогодні регульовані приводи вимагаються не лише у промисловому виробництві, але усе більше в побутовій техніці, наприклад, у невеликих насосах, кондиціонерах повітря тощо.

Але, перед інвестуванням в модернізацією нового цеху розливу напоїв необхідно зрозуміти доцільність вкладених коштів з метою забезпечення максимально швидкого повернення інвестицій та отримання прибутку, і звісно для переходу на більш сучасний, конкурентоздатний технологічний рівень.

Засобом що дозволяє реалізувати такий підхід є частотно-регульований асинхронний електропривод на базі перетворювача частоти.

Перетворювач частоти у складі регульованого електроприводу забезпечує гнучкість технологій і економію електроенергії. Перш за все

					<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
				<i>ДП 2021 141</i>		70	100

регульований електропривід вигідно застосовувати у випадках, коли на підприємстві спостерігається наступне:

- змінюється кількість продукції, що випускається, в одиницю часу;
- змінюється вхідний матеріал для різних видів продукції;
- можна поліпшити технологічний процес, використовуючи плавне регулювання його параметрів;
- технологічне устаткування, насоси, вентилятори працюють із змінним або неповним навантаженням;
- потрібні часті пуски, зупинки, реверс приводних двигунів, і виникає необхідність знизити навантаження на устаткування та витрати енергії в перехідних режимах, продовжити термін служби трубопроводів, усунувши гідродари в них, зробивши плавний пуск насосів, виникає необхідність зменшити витрати на обслуговування устаткування, замінивши приводи з редукторами і варіаторами на регульовані асинхронні електроприводи.
- є перевитрата електроенергії.

Регулювання швидкості обертання є природним способом досягнення необхідного робочого стану процесу. містить в собі ряд переваг, цінність яких безпосередньо може бути виміряна грошима: зручність регулювання і роботи системи (м'який пуск, регульовані час прискорення і уповільнення, точна швидкість, можливість дистанційного керування, сполучення з ЕОМ). Переваги дозволяють знизити капіталовкладення, експлуатаційні затрати, трудові затрати, спростити конструкцію машин, підвищити ступінь автоматизації, і інше, що дозволяє зберегти гроші.

Використання регульованих електроприводів дозволяє знизити знос устаткування і скоротити витрати на техобслуговування, оскільки при зниженні швидкості часто знижується і момент, тиск і механічне навантаження на деталі машин. Регулювання швидкості обертання виключає різкі шкідливі зміни навантаження, дозволяє отримати м'який пуск і м'якшу роботу приводу,

					<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
				<i>ДП 2021 141</i>		71	100

скоротити потребу в ремонті і знизити витрати на техобслуговування устаткування.

Також вони дозволяють одночасно збільшити випуск продукції і підвищити її якість. Звичайне збільшення об'єму продукції знижує якість, а підвищення якості призводить до зменшення випуску продукції. Це часто пов'язано з питанням оптимізації, яке важко вирішити на стадії проектування. Якщо змінити об'єм продукції регулюванням швидкості, то оптимізацію кількості і якості продукції можна виконати пізніше.

Також використання частотного електроприводу дозволяє зекономити енергію за рахунок зменшення споживаної потужності оптимізацією роботи приводу через регулювання швидкості обертання.

Значна економія спостерігається в приводах насосів і вентиляторів, в яких споживання потужності знижується пропорційно третій степені від швидкості. У багатьох насосів економія перевищує 50%, що при великих потужностях означає велике заощадження коштів.

Стовідсоткової ефективності системи, на жаль, неможливо досягти. У деяких випадках використовуються дубльовані системи, які забезпечують роботу один одного при порушенні режиму роботи. Що стосується пристроїв регулювання швидкості, частотний перетворювач є єдиною системою, яка може забезпечити повне резервування без додаткових пристроїв. Частотний перетворювач має унікальну перевагу: виникнення несправності не вимагає простою обладнання, і отже, великих збитків у виробництві. Коли в якості приводного двигуна служить короткозамкнений електродвигун, перетворювач може бути просто зашунтованим, наприклад, на час перевірки або у разі перешкоди в його роботі. Інші системи регулювання швидкості не дають такої можливості без дорогих дублюючих систем, котрі ще й вимагають додаткового місця.

Найбільш поширеним способом регулювання частоти обертання є метод керування вектором магнітного потоку статора асинхронного двигуна. Функціональна схема пристрою алгоритму наведена на рис. 1

					<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
				<i>ДП 2021 141</i>		72	100

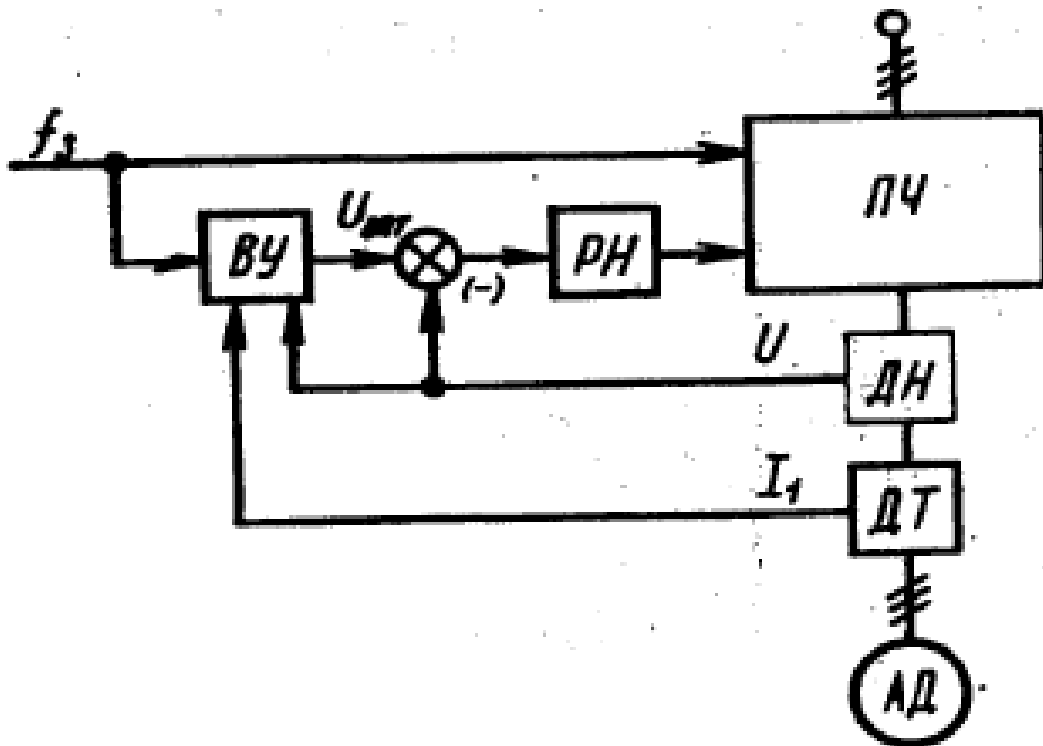
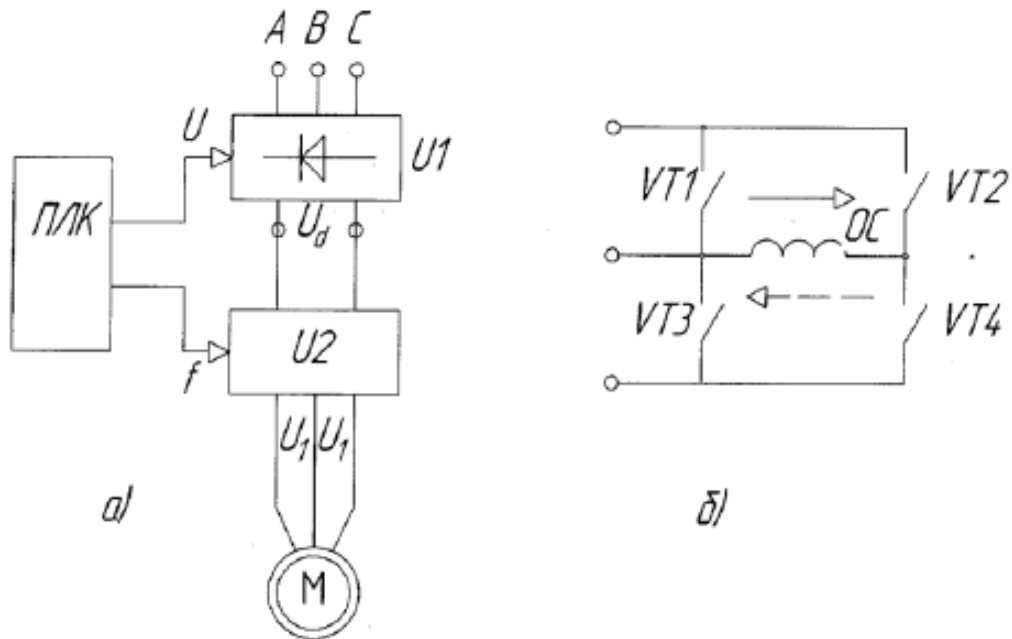


Рисунок 1 – Схема функціональна автоматичної системи регулювання

Система складається з об'єкта регулювання – АД, тиристорного перетворювача частоти ПЧ, давачів напруги ДН і струму статора ДТ, регулятора напруги РН і обчислювального пристрою ВУ. Вона працює наступним чином. Сигнали струму і напруги статора подаються на входи обчислювального пристрою ВУ. Він за вимірними значеннями напруги  $\dot{U}_\phi$  та струму  $I_1$  обчислює струм  $I_2$  і значення  $\Phi_{opt}$ . Потім ВУ обчислює значення напруги  $\dot{U}_\phi_{opt}$ , яке потрібне для створення цього потоку. Сигнали керування для створення потрібної напруги і частоти подаються на входи тиристорного перетворювача ПЧ. Перетворювачі, які використовують для частотного керування асинхронними двигунами, побудовані за різними схемами.

Найбільш розповсюдженим є перетворювач з керованим випрямлячем та інвертором. Його функціональна схема зображена на рис. 2.



### Тиристорний перетворювач частоти

*а)-схема функціональна; б)-схема комутації вентилів у перетворювачі U2*

Рисунок 2 – Схема функціональна електроприводу АД-ТПЧ-ПЛК

У керованому випрямлячі U1 напруга змінного струму випрямляється у напругу постійного струму  $U_d$ , значення якої можна змінювати зовнішнім сигналом керування тиристорами. В інверторі напруга постійного струму перетворюється в напругу змінного струму  $U_1$  потрібної частоти, яку також можна змінювати сигналом керування. Сигнали керування тиристорами формуються програмою імпульсно-фазового керування (СІФК), яка у даному випадку введена у програмований контролер ПЛК. Напруга, що подається на АД, регулюється у випрямлячі, а частота – в інверторі.

Принципова електрична схема силового блоку електроприводу АД-ТПЧ-ПЛК зображена на рис. 3.

					Літ.	Аркуш	Аркушів
				ДП 2021 141		74	100

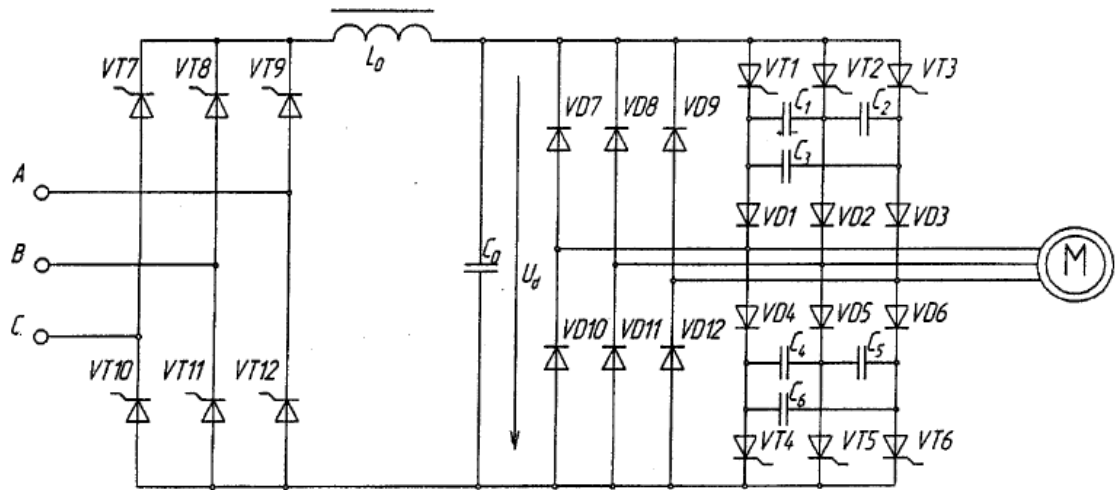


Рисунок 3 – Схема електрична принципова силового блоку ТПЧ

Метод регулювання частоти вектором потоку статора технічно реалізовано різними фірмами, у тому числі – “MITSUBISHI ELECTRIC” (перетворювачі типів FR-S-500, FR-E-520, FR-E-540, FR-A-540 на діапазон потужностей від 0,2 до 55 кВт), “SCNEIDER ELECTRIC” (серійно виготовляє перетворювачі типу “ALTIVAR 58” та “ALTIVAR 68” .

Функціональна схема регульованого електроприводу з перетворювачем типу “ALTIVAR 58” зображена на рис. 4.

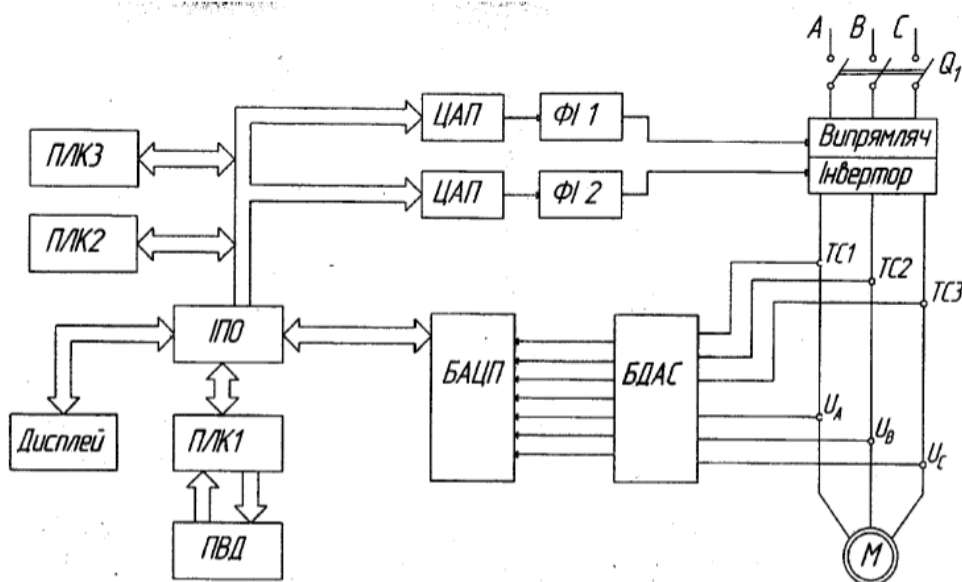


Рисунок 4 – Схема функціональна електроприводу АД-ТПЧ-ПЛК з векторним керуванням

**БДАС** – блок давачів аналогових сигналів; **БАЦП** – блок аналого-цифрових перетворювачів; **ПО** – інтерфейс паралельного обміну; **ПЛК1** – програмований логічний контролер керування; **ПВД** – пульт вводу даних; **ПЛК2** – програмований логічний контролер системи ідентифікації вектора потокозчеплення; **ПЛК3** – програмований логічний контролер системи імпульсно-фазового керування випрямляча і інвертора; **ЦАП** – цифро-аналоговий перетворювач; **ФІ 1, ФІ 2** – блоки формувачів імпульсів керування тиристорами; **ТС1, ТС2, ТС3** – трансформатори струму; **UA, UB, UC** – давачі напруги. Силовий блок електроприводу складається з випрямляча і інвертора, його схема зображена на рис.4.

Випрямляч виконано за мостовою схемою, інвертор – за схемою автономного інвертора напруги (АІН). Трансформатори струму ТС1, ТС2, ТС3 і давачі напруги UA, UB, UC встановлені для вимірювання сигналів струмів і напруг, з яких формуються сигнали керування тиристорами випрямляча й інвертора. Програмований логічний контролер ПЛК1 призначений для загального керування системою, для програмування і зберігання даних і програм. Програмований логічний контролер ПЛК2 призначений для обробки результатів поточних вимірювань струмів статора, напруги і частоти і для обчислення значення оптимального потокозчеплення та відповідних йому значень напруги і частоти та сигналів керування на ПЛК3, у якому формуються кодовані сигнали керування тиристорами випрямляча й інвертора. Сформовані ПЛК3 кодовані сигнали за допомогою цифро-аналогових перетворювачів перетворюються у відповідні значення напруги, з якої формувачі імпульсів ФІ1 і ФІ2 формують імпульси відповідної форми й потужності, які подаються на керуючі електроди тиристорів. Регулювання здійснюється за законом (3.14) при номінальному ковзанні на всіх частотах.

$$\Phi_* = \frac{U \phi^*}{f_*}, \quad (3.14)$$

Сучасні схеми силового блоку в модифікаціях “ALTIVAR 31”, “ALTIVAR 71” відрізняються від схем “ALTIVAR 58” тим, що випрямляч

					<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
				<i>ДП 2021 141</i>		76	100

у схемі перетворювача виконують на діодах, некерованим, а замість автономного інвертора АІН застосовують ШІМ- модулятор на IGBT транзисторах.

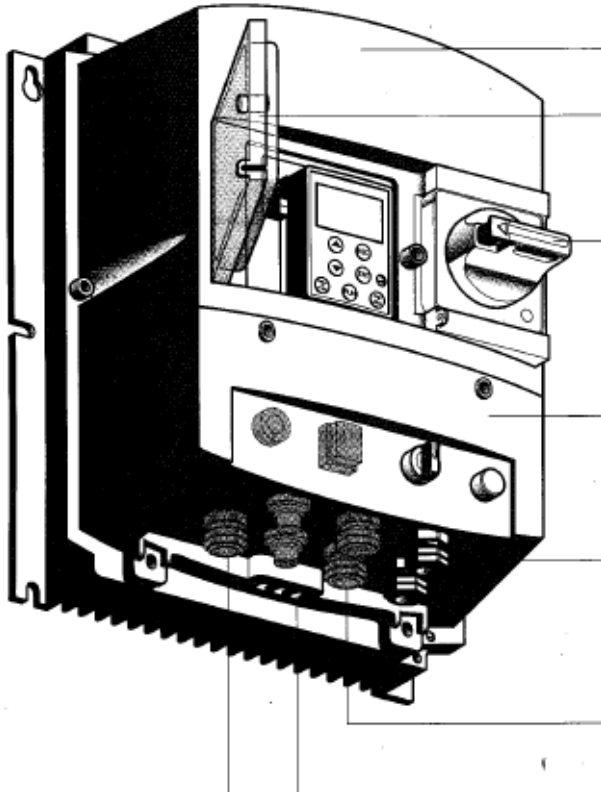


Рисунок 5 – Загальний вигляд конструктивного оформлення ТПЧ-ПЛК типу “ALTIVAR 58”

Світові і національні фірми з випуску електрообладнання, такі як “SIEMENS”, “SCHNEIDER ELECTRIC”, “MITSUBISHI ELECTRIC”, “ТРИОЛ” (російсько-українська) та інші ще з кінця ХХ-го сторіччя виготовляють на продаж тиристорні перетворювачі частоти струму з програмованим логічним контролером для частотно-регульованого асинхронного електроприводу. Ринок електротехнічного обладнання вже давно заповнений електроприводами АД- ТПЧ-ПЛК потужністю від 0,18 кВт до 750 кВт. У першому поколінні майже всі розробники застосовували ТПЧ за схемою “Автономний інвертор напруги з ланкою постійного струму (керований випрямляч)”, зображеної на рис.3. У цій схемі випрямляч і інвертор виконувались на силових тиристорах, а керування за законом

					Літ.	Аркуш	Аркушів
				ДП 2021 141		77	100

$U/f = \text{const}$  здійснювалось по двох каналах – напруги у випрямлячі, частоти в інверторі.

Згодом на ринку електронних компонентів з'явилися біполярні транзистори з ізольованим затвором (IGBT- транзистори, БТІЗ- транзистори), застосування яких дозволило спростити схему перетворювача частоти. В сучасних перетворювачах використовують схеми “некерований діодний випрямляч – широтно-імпульсний модулятор на IGBT- транзисторах”. Переваги IGBT-транзисторів – високий вхідний опір, керування не струмом, а напругою (мала потужність керуючого сигналу), малий спад напруги відкритого транзистора. Діапазон застосування – за струмом 10...1200 А, за напругою від 100 В до 10000 В.

Сучасна схема силового блоку ТПЧ на БТІЗ-транзисторах зображена на рис. 6. Схема складається з трифазного мостового випрямляча з фільтром і трифазного ШИМ-модулятора. Керування за законом  $U/f = \text{const}$  здійснюється по одному каналу – в модуляторі амплітудою і частотою модулюючого сигналу, який формується системою керування.

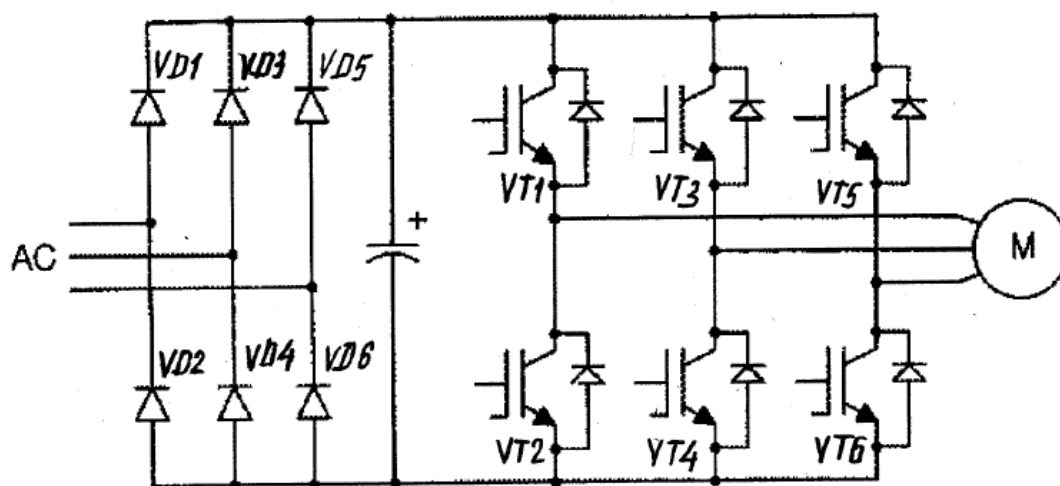


Рисунок 6 – Схема перетворювача частоти струму на БТІЗ- транзисторах  
Станція керування з каскадно-частотним керуванням “HMS Control ST”  
призначена для керування групою насосних агрегатів від 1 до 4 у відповідності з сигналами керування. Станції призначені для застосування в системах водопостачання, тепlopостачання та ін. Модельний ряд станцій складається з

21 типорозмірів з потужностями від 0,37 кВт до 132 кВт, модифікаціями з прямим пуском (до 5,5 кВт) і з плавним пуском (від 7,5 кВт до 132 кВт).

Станція виконує функції автоматичного керування рівня і тиску, в режимі водопідймання або дренажа, дистанційного і місцевого керування трифазними електродвигунами глибинних насосів і захисту їх від перевантажень за струмом, коротких замикань, неповнофазного режиму роботи і сухого ходу. В режимі пуску електродвигунів потужністю 7,5...132 кВт станція забезпечує плавний пуск.

В автоматичному режимі станція забезпечує керування за сигналами давачів верхнього і нижнього рівнів, встановлених у резервуарі, від електроконтактного манометра або реле тиску.

В режимі дистанційного керування станція забезпечує керування по двопровідній лінії (до 2 км). В режимі місцевого керування станція вмикається і вимикається автоматичним вимикачем.

В усіх режимах станція забезпечує:

- вимикання електродвигуна при обриві будь-якої з трьох фаз;
- вимикання електродвигуна при перевантаженні за струмом;
- вимикання електродвигуна при відсутності води у свердловині;
- світлову сигналізацію аварійних станів;
- відновлення роботи після виходу з аварійного стану;
- індикацію споживаного струму в одній з фаз.

Принцип роботи станції керування засований на каскадному вмиканні насосів. На виході насосної установки встановлено аналоговий давач тиску, сигнал з якого подається на вхід системи керування. На початку роботи виконується перевірка сигналів давачів (наявність води в насосі, справність давача тиску і все інше). Якщо сигнали задовільняють умовам пуску, то програма за умови оцінки напрацювання вибирає основний насос ( той що має найменше з усіх напрацювання ). Основний насос – це той, який в даний момент працює від перетворювача частоти, далі насос-майстер. Інші насоси приєднуються до мережі напряму або через пристрій плавного пуску. Програма ПЛК обирає

					Літ.	Аркуш	Аркушів
				ДП 2021 141		79	100

насос-майстер, приєднує до ТПЧ і починає роботу, регулюючи частоту обертання насоса у відповідності с сигналами давача тиску, регульованому ПД-регулятором. Якщо поточне значення тиску менше значення уставки і насос-майстер працює на максимальній частоті, то через певний проміжок часу програма ПЛК вмикає додатковий насос. І так до того часу, поки тиск у системі не досягне встановленого значення. Через встановлений час програма дає команду на заміну насоса-майстра. Далі ПЛК обирає нового насоса-майстра за умови часу напрацювання і стану насосів. Станція зупиняється, виконується перемикання насоса-майстра і робота відновлюється. Цей принцип забезпечує рівномірне напрацювання всіх насосів в системі. Якщо заданого значення тиску в системі досягнуто і насос працює з мінімальною частотою, програма почне вимикати насоси в залежності від напрацювання і стану.

**Склад станції “HMS Control ST”:**

- Перетворювач частоти;
- Програмований логічний контролер SEGNETICS;
- Система індикації і сигналізації;
- Магнітні пускачі з тепловими реле;
- Органи керування і автомати захисту;
- Пристрій плавного пуску (при потужності двигуна 7,5 кВт і більше);
- Пристрій контролю мережі;
- Пристрій обмеження імпульсних перенапруг;
- Вольтметр на ввіді мережі;
- Амперметр на кожний насос;
- GSM- модем, модуль зв'язку “Modbus”, модуль зв'язку “Profibus”

Виробником пропонується 10 модифікацій станцій з прямим пуском і 10 модифікацій станцій з плавним пуском на потужності від 1.1 кВт до 132 кВт.

					<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
				<i>ДП 2021 141</i>		80	100

Привід Триол АТ-24 – це універсальна багатофункціональна система живлення, захисту і керування електродвигунами насосів. Електропривод Триол АТ-24 забезпечує плавний пуск, регулювання частоти обертання двигуна, тривалу роботу в номінальному режимі, реверсування і гальмування за заданим темпом і підтримання у всьому діапазоні робочих частот номінальних характеристик електродвигуна. Основні функції електроприводу АТ24 такі:

- Пуск, зупинка і регулювання частоти обертання насосів;
- Розгін і гальмування за заданими темпами;
- Реверс, прискорення, сповільнення, зупинка;
- Захист двигуна від струму КЗ і перевантаження;
- Керування насосами від зовнішніх дво- і трипровідних давачів;
- Збереження конфігурації керування двигуном;
- Динамічне гальмування двигуна;
- Керування одночасно 4-ма насосами за програмою “Каскадне керування”

Силовий блок АТ24 виконано за схемою автономного інвертора з проміжною ланкою постійного струму . АІН виконано на БТІЗ- транзисторах з керуванням за принципом широтно-імпульсної модуляції з частотою 2-10 кГц. Система керування привода реалізована на сучасному двоядерному контролері. Привод Триол АТ24 реалізує алгоритм векторного керування потоком двигуна в розімкненій системі, що забезпечує точний контроль за обертовим моментом двигуна, зменшення втрат споживаної енергії.

Частотні перетворювачі ALTIVAR 31 і ALTIVAR 312 призначені для керування трифазними АД потужністю від 0,18 до 15 кВт. Вмонтовані в ПЛК програми дозволяють виконувати всі перелічені вище функції комутації, захисту, регулювання і діагностики двигуна. Крім стандартних функцій перетворювач ALTIVAR 312 дозволяє реалізувати деякі додаткові функції – застосування в насосних установках енергозберігаючого закону керування та ПІ-регулятора для регулювання тиску за допомогою давача зворотного зв'язку.

					<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
				<i>ДП 2021 141</i>		81	100

Технічні характеристики приводів ALTIVAR 312 наведені на рис. 7.

Диапазон мощности при частоте сети 50 - 60 Гц (кВт)		0,18 - 4	0,18 - 15	0,75 - 75
Однофазная, 100 - 120 В (кВт)		0,18 - 0,75	—	—
Однофазная, 200 - 240 В (кВт)		0,18 - 2,2	0,18 - 2,2	—
Трёхфазная, 200 - 230 В (кВт)		—	—	—
Трёхфазная, 200 - 240 В (кВт)		0,18 - 4	0,18 - 15	0,75 - 30
Трёхфазная, 380 - 480 В (кВт)		—	—	0,75 - 75
Трёхфазная, 380 - 500 В (кВт)		—	0,37 - 15	—
Трёхфазная, 525 - 600 В (кВт)		—	0,75 - 15	—
Трёхфазная, 500 - 690 В (кВт)		—	—	—
<b>Электропривод</b>	Выходная частота	0,5 - 400 Гц	0,5 - 500 Гц	0,5 - 200 Гц
	Закон управления	Асинхронный двигатель	Скалярное U/f-регулирование Векторное управление потоком в разомкнутой системе Квадратичный закон Кл <sup>2</sup>	Скалярное U/f-регулирование Векторное управление потоком в разомкнутой системе Энергосберегающий режим
		Синхронный двигатель	—	Векторное управление потоком в разомкнутой системе Закон U/f по 2 точкам Энергосберегающий режим
	Переходный момент	150 - 170 % номинального момента двигателя	170 - 200 % номинального момента двигателя	110 % номинального момента двигателя
<b>Функции</b>				
	Количество функций	40	50	50
	Количество предварительно заданных скоростей	8	16	7
Количество входов-выходов	Аналоговые входы	1	3	2
	Дискретные входы	4	6	3
	Аналоговые выходы	1	1	1
	Дискретные выходы	1	—	—
	Релейные выходы	1	2	2
<b>Коммуникационные интерфейсы</b>	Встроенные	Modbus	Modbus и CANopen	Modbus
	На заказ	—	CANopen Daisy chain, DeviceNet, PROFIBUS DP, Modbus TCP, Fipio	LonWorks, METASYS N2, APOGEE FLN, BACnet

Рисунок 7 –Технічні характеристики електроприводів ATV 312

Отже, як ми бачимо, вибір на ринку частотних перетворювачів дуже великий, на різні потужності, потреби та платіжоспроможності підприємства. Присутні як зарубіжні, так і вітчизняні виробники. Ця галузь в Україні ще розвивається, але конкуренція на ринку змушує обирати виробників товарів все більш прогресивні засоби автоматизації своїх підприємств.

Для прикладу, візьмемо присутній на підприємстві насос К 65-50-160.

Його паспортні дані:

$$P=11 \text{ кВт}$$

$$Q = 110 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$H = 26\text{м}$$

$$n = 3000 \text{ об/хв}$$

$$U = 380 \text{ В}$$

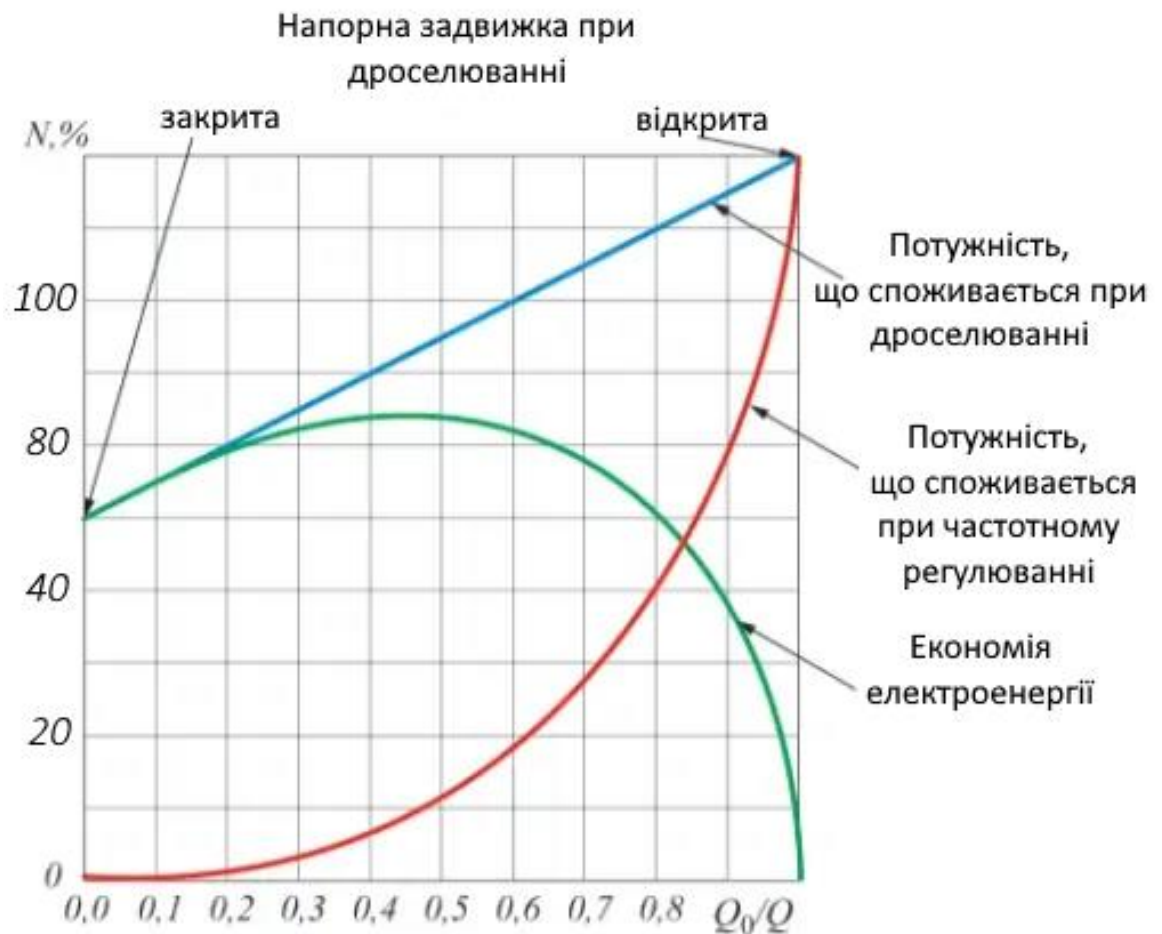
$$\eta = 0,73$$

					Літ.	Аркуш	Аркушів
				ДП 2021 141		82	100

Опір на виході насос. Станції -1,3 кГс/см<sup>2</sup>

Опір на вході насосу – 0,3 кГс/см<sup>2</sup>

V(витрата води на місяць) -20736 м<sup>3</sup>



При регулюванні рециркуляцією, насос працює в режимі близькому до оптимального при максимальній (оптимальній) продуктивності незалежно від потоку води. Споживання механічної енергії дорівнює номінальній потужності двигуна, споживання електричної енергії буде таким же, але з врахуванням ККД двигуна. Споживання енергії можна розрахувати з паспортних даних.

$$P_{\text{рец}} = P_{\text{опт}} = \frac{P_{\text{мех}}}{\eta} = \frac{8}{0,73} = 11 \text{ кВт}$$

При регулюванні дроселюванням, робоча точка насоса здвигається в область більш високого тиску і меншої витрати, споживання енергії знижується, але ККД насоса різко падає.

					Літ.	Аркуш	Аркушів
				ДП 2021 141		83	100

Оцінити зниження споживання енергії можна за наближеною формулою:

$$P_{др} = \frac{P_{опт}}{2} \cdot \left(1 + \frac{Q}{Q_{опт}}\right)$$

$$Q = \frac{V_{міс}}{360} = \frac{20736}{360} = 57,6 \text{ м}^3/\text{ГОД}$$

$$P_{др} = \frac{11}{2} \cdot \left(1 + \frac{57,6}{110}\right) = 8,4 \text{ кВт}$$

Розрахуємо частоту обертання ротора насоса виходячи з умови зниження продуктивності і напора:

$$n_Q = n \cdot \frac{Q}{Q_{опт}} = 3000 \cdot \frac{57,6}{110} = 1570 \text{ об/хв}$$

$$n_H = n \cdot \sqrt{\frac{H}{H_{опт}}}$$

$$H = (p_{вих} - p_{вх}) \cdot g = (1,3 - 0,3) \cdot 9,8 = 9,8 \text{ м}$$

$$n_H = 3000 \cdot \sqrt{\frac{9,8}{26}} = 1741 \text{ об/хв}$$

Робоча точка, що забезпечує необхідну продуктивність, буде досягтися при частоті обертання насоса між  $n_H$  і  $n_Q$ . Приймаємо за частоту обертання ротора більшу.

$$P_{рег} = P_{опт} \cdot \frac{n_H}{n} = 11 \cdot \frac{1741}{3000} = 6,4 \text{ кВт}$$

Регулювання частоти обертання двигуна виконується за допомогою перетворювача частоти (ПЧ). ККД ПЧ зазвичай не менше 95%. Враховуючи це споживана потужність складе:

$$P_{ПЧ} = \frac{P_{рег}}{\eta} = \frac{6,4}{0,95} = 6,7 \text{ кВт}$$

Розрахуємо вартість електроенергії для трьох варіантів регулювання. Приймаємо риночну ціну електроенергії 2,2 грн/кВт.год.

Занесемо дані в порівняльну таблицю №21.

					Літ.	Аркуш	Аркушів
				ДП 2021 141		84	100

Таблиця № 21

Спосіб регулювання насосу	Споживана потужність(за годину) (кВт)	Споживана потужність за місяць (кВт)	Ціна за місяць (грн)
рециркуляція	11	3960	8712
дроселювання	8,4	3024	6653
частотне регулювання	6,7	2412	5306

При дроселюванні	> на 1 343 грн	При частотному регулюванні
------------------	----------------	----------------------------

Враховуючи , що в цеху підприємства присутні ще 7 насосів різної потужності, то в результаті підрахунків отримаємо дані з табл.№ 22.

$T_{роб.міс}=360$

Таблиця № 22

Спосіб регулювання насосу	Споживана потужність(за годину) (кВт)	Споживана потужність за місяць (кВт)	Ціна за місяць (грн)
рециркуляція	30,6	11016	24235,2
дроселювання	23,3	8388	18453,6
частотне регулювання	18,7	6732	14810,4

При дроселюванні	> на 3 643,2 грн	При частотному регулюванні
------------------	------------------	----------------------------

Економія в межах одного цеха очевидна, враховуючи, що насоси середньої та низької потужності.

					Літ.	Аркуш	Аркушів
				ДП 2021 141		85	100

Впровадження частотних перетворювачів в систему електропривода підприємства может принести вагомий економічний ефект не тільки від економії енергії, але і від автоматизації управління та збільшення терміна служби системи вцілому. Головне, на стадії прийняття рішення грамотно розрахувати очікуємий результат, обравши оптимальне технічне рішення. Бездумне впровадження ПЧ может привести або до збільшення строків окупності, або навіть до збитковості рішення.

				<i>ДП 2021 141</i>	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
						86	100

## 17. Охорона праці

### 1. Обґрунтування рішення щодо розміщення розподільчих шаф на виробничому об'єкті.

Головна мета розподільчих шаф це прийом, а також розподіл електричної енергії. До того ж, таке обладнання допомагає захищати мережу від перевантажень, падіння напруги і коротких замикань.

Вона являє собою заземлену металеву шафу захищеного виконання, всередині якої перебуває відповідна апаратура: силові роз'єднувачі, запобіжники, лічильники електроенергії, аварійне введення резерву (АВР), реле контролю фаз, вольтметри і амперметри. В дні короба є отвори, що призначені для кабелів різних розмірів, що дозволяє провести його всередину короба, при цьому, не пошкодивши дроти.

Усі електричні мережі та електрообладнання, а також ті, що проектуються, споруджуються, реконструюються чи модернізуються, повинні відповідати чинним "Правилам улаштування електроустановок" (далі - ПУЕ) та іншим чинним нормативним документам.

Будівлі, приміщення, споруди електроустановок повинні бути оснащені первинними засобами пожежогасіння з урахуванням вимог НАПБ А.01.001-20049 (до 1000 В - порошкові; порошкові або вуглекислотні - до 1000 В; від 1000 В- вуглекислотні; якщо напруга електроустановки вище 1000 В, але не перевищує 10 кВ, допускається використовувати вогнегасники на основі вуглекислоти (ВВК). Даний пункт уточнюється: пристрої повинні мати довжину струменя – більше 3 м, а вміст парів води – менше 0,006%).

На підприємствах, як правило, розподільчі шафи розміщують в РУ. Кріпляться вони вздовж стін РУ на металевих панелях, з обов'язковим заземленням. Частина приміщення в якому розташовано це електрообладнання, має бути відгороджене, наприклад, сітками і доступне тільки для виробничого (електротехнічного) персоналу.

Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	ДП 2021 141			
Розробив		Туранська Т.В.			17.Охорона праці	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Сірик А.О.					87	100
Реценз.								
Н.контр.								
Затвердив		Балюта С.М.						
						ННПТ ім.акад.І.С.Гулого ЗЕЛ-5-3		

Двері приміщень електроустановок, шаф, щитів та щитків повинні бути зачинені на замок (що відкривається з зовні і з середині приміщення) крім тих, в яких проводяться роботи. Ключі від приміщень, шаф, щитів та щитків повинні зберігатись у електротехнічного персоналу (ремонтного та у диспетчера ОДС) або в працівників зі складу керівників і спеціалістів.

Приміщення, в яких розміщуються розподільчі шафи повинні бути обладнані електричним освітленням і природною вентиляцією. Якщо температура навколишнього повітря може бути нижча допустимої (нижче 5 °С) для цього устаткування, то передбачають електричне підігрівання для надійного функціонування. Температура повітря всередині приміщень ЗРУ у літній період не повинна перевищувати 40 °С. У разі її перевищення повинні бути вжиті заходи для зниження температури обладнання або охолодження навколишнього повітря.

Стіни приміщень, де встановлюються розподільчі шафи, до висоти не менше 2 м, фарбують світлою масляною фарбою, а решта поверхонь- світлою клейовою фарбою. Вентиляційні канали- світлою. Покриття підлоги приміщень підстанцій повинно бути таким, щоб виключалась можливість утворення цементного пилу. Щитові РУ та інше обладнання повинні бути пофарбовані у світлі тони, фарбою яка не підтримує горіння.

Кабельні канали й наземні кабельні лотки ВРУ і ЗРУ повинні бути закриті негорючими плитами з межею вогнестійкості відповідно до вимог ПУЕ та будівельних норм. Місця виходу кабелів з кабельних каналів, з поверхів і переходи між кабельними відсіками повинні бути ущільнені вогнетривким матеріалом.

При розміщенні розподільчих шаф та інших ввідно-розподільних пристроїв за межами електроприміщення вони повинні встановлюватися в зручних і доступних для обслуговування місцях, в шафах з мірами захисту оболонки по ГОСТ 14254 не нижче IP31. У цих випадках відстань від трубопроводів (водопровід, опалювання, каналізація, внутрішні водостоки) має бути не менше 0,5 м, а від газопроводів і газових лічильників - не менше 1 м.

					<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
				<i>ДП 2021 141</i>		<i>88</i>	<i>100</i>

Конструкція, виконання, спосіб устанавлення, прокладання і клас ізоляції застосовуваного електроустаткування, а також кабелів і проводів мають відповідати розрахунковим параметрам електроустановки, режимам її роботи, умовам навколишнього середовища і вимогам відповідних глав цих Правил. Електроустановки та пов'язані з ними конструкції мають бути стійкими до впливу навколишнього середовища або захищеними від цього впливу.

У блоках вводу і розподілу РУ, до яких відносяться силові шафи, повинно бути передбачено достатнє місце для розміщення та приєднання провідників до комутаційних апаратів з дотриманням нормованих радіусів вигину ізолюваних проводів і жил кабелів. Також повинні бути передбачені елементи для кріплення кабелів і проводів живильних мереж і розподільних кіл.

У ЗРУ (силових шафах, розподільчих пунктах тощо) слід передбачати внутрішнє освітлення для обслуговування і ремонту при відключеному ввідному комутаційному апараті.

В РУ (силові шафи, розподільчі пункти тощо) в закріпленому положенні повинні володіти достатньою жорсткістю, що виключає деформації, що негативно впливають на роботу апаратів і приладів при ударах і поштовхах, обумовлених включенням і вимиканням комутаційних апаратів, а також при кидках струмів і коротких замиканнях.

Збірні шини повинні бути розташовані і закріплені так, щоб при нормальних умовах експлуатації виключалася можливість внутрішнього короткого замикання.

Прокладання ізолюваних проводів слід виконувати у передбачених місцях таким чином, щоб вони не торкалися неізолюваних струмоведучих частин і гострих кромek провідних частин ЗРУ (розподільчих шаф), а радіуси їх вигину були не менш нормованих значень. Проводи не повинні перешкоджати монтажу та демонтажу апаратів.

Установку комутаційних апаратів у ВРУ (силових шафах, розподільчих пунктах, тощо) слід виконувати з урахуванням вимог інструкцій їх виготовлю-

					<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
				<i>ДП 2021 141</i>		89	100

вачів щодо становища апаратів, дотримання відстаней до провідних частин, перетинів приєднуються провідників тощо.

Передбачені у ВРУ (силових шафах, розподільчих пунктах тощо) огороження повинні встановлюватися і зніматися з застосуванням інструменту без ризику зіткнення з неізольованими струмоведучими частинами, що перебувають під напругою, або пошкодження ізоляції струмоведучих частин.

Для запобігання потраплянню у електроприміщення та у середину пристроїв ВРУ (розподільчих шаф, тощо) тварин та гризунів усі отвори і прорізи в зовнішніх стінах (панелях) закривають сітками або ущільнюють.

Електрообладнання ввідних і ввідно-розподільних пристроїв, поверхових щитків, силових і розподільних шаф, пунктів усіх видів і напруг повинно задовольняти умови роботи як для номінальних режимів, так і для короткочасних перевантажень.

Розподільчі шафи мають бути встановлені так, щоб вібрації, що виникають при дії апаратів, а також від струсів, викликаних зовнішніми діями, не порушували контактних з'єднань і не викликали розрегулювання апаратів і приладів.

Поверхні гігроскопічних ізоляційних плит, на яких безпосередньо вмонтовуються неізольовані струмопровідні частини, мають бути захищені від проникнення в них вологи (просоченням, пофарбуванням, тощо).

У електроприміщеннях, в яких розташовані шафи ввідних і ввідно-розподільних пристроїв, проходи обслуговування, що знаходяться з лицевого боку шафи, повинні відповідати наступним вимогам:

– ширина проходів має бути не менше 0,8 м; висота проходів - не менше 1,9 м. У проходах не повинні знаходитися предмети, які могли б створити труднощі пересування людей і устаткування. У окремих місцях проходи можуть бути обмежені виступаючими будівельними конструкціями, проте ширина проходу в цих місцях має бути не менше 0,6 м.

– як обгороджування неізольованих струмопровідних частин можуть

					<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
				<i>ДП 2021 141</i>		90	100

служити сітки з розмірами вічок не більше 25 x 25 мм, а також суцільні або змішані обгороджування.

У ввідних і ввідно-розподільних пристроях, силових і розподільчих шафах, пунктах має бути забезпечена можливість установки переносних захисних заземлень. Місця встановлення переносних заземлень повинні бути зачищені від фарби та інших ізоляційних покриттів та позначені на шинах чорними смугами, а біля спеціальних болтових з'єднань відповідним знаком.

Взаємне розташування фаз і полюсів в межах ввідних і ввідно-розподільних пристроїв має бути, як правило, однаковим. Шини (жили кабелів чи проводи) повинні мати кольорове фарбування при змінному трифазному струмі: шини фази А - жовтим кольором, фази В - зеленим, фази С - червоним, нульова робоча N - блакитним, якщо ця ж шина використовується як нульова захисна, - подовжніми смугами жовтого і зеленого кольорів.

На дверях приміщень електроустановок, шаф, щитів та щитків повинні бути вивішені чи нанесені попереджувальні плакати та знаки встановленого зразка згідно з вимогами ПБЕЕС.

В приміщенні РУ, де встановлені розподільчі шафи, потрібно використовувати відповідні знаки безпеки (знаки заборони; попереджувальні знаки; зобов'язувальні знаки; вказівні знаки; рятувальні знаки; знаки пожежної безпеки; знаки та плакати електробезпеки).

Працівники повинні бути забезпечені спецодягом, спецвзуттям та іншими засобами індивідуального захисту відповідно до діючих норм залежно від характеру робіт, що виконуються, та зобов'язані ними користуватись при виконанні цих робіт.

Працівники, що обслуговують електроустановки, зобов'язані знати ці Правила, ПУЕ, ПТЕЕС, ПБЕЕС, Правила пожежної безпеки (далі – ППБ) та інші НД чинного законодавства України відповідно до займаної посади чи роботи, яку вони виконують, і мати відповідну групу з електробезпеки згідно з вимогами ПБЕЕС. I, II, III групи мають право обслуговувати електрообладнання до 1000В, IV, V- понад 1000 В та мати вік понад 18 років і спеціальну

					<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
				<i>ДП 2021 141</i>		91	100

освіту енергетичного профілю; пройти перевірку знань з ПТЕЕС та ПБЕЕС, інструктажі ( первинний, повторний з ОП; інструктаж з ТБ; з цивільного захисту, пожежної безпеки та дій персоналу при загрозі або виникненні надзвичайних ситуацій) та мати посвідчення встановленої форми згідно з додатком 2 до ПБЕЕС, яке він зобов'язаний мати при собі під час роботи. Посадові інструкції, інструкції з охорони праці та пожежної безпеки повинні бути на кожному робочому місці

При прийнятті на роботу, а також періодично стан здоров'я працівників повинен засвідчуватися медичним оглядом. Медичний огляд працівників слід здійснювати відповідно до вимог ДНАОП 0.03-4.02-94 "Положення про медичний огляд працівників певних категорій". Виробничий персонал підлягає додатково психо-фізіологічній та наркологічній експертизі.

Усі виробничі працівники електрогосподарств повинні бути навчені практичним способам вивільнення людини, яка потрапила під дію електричного струму, надання їй долікарської допомоги та прийомам надання долікарської допомоги потерпілому при інших нещасних випадках.

Роботи на обладнанні силових шаф, ввідних і ввідно-розподільних пристроїв тощо повинні виконуватися по наряду-допуску бригадою працівників кількістю не менше двох членів бригади.

Огляди, виявлення і ліквідація несправностей в електроустановках без місцевих чергових працівників виконуються централізовано виїзними працівниками, що здійснюють нагляд і роботи на об'єкті (чи групі об'єктів). Періодичність цих робіт встановлюється особою, відповідальною за електрогосподарство, залежно від місцевих умов. Результати оглядів фіксуються в оперативному журналі.

Роботи в РУ стосовно їх організації поділяються на такі, що виконуються: за нарядом-допуском (далі нарядом), за розпорядженням та в порядку поточної експлуатації.

					<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
				<i>ДП 2021 141</i>		92	100

## 2. Організаційні та технічні заходи з охорони праці

Призначення заземлення. Захисне та робоче заземлення. Сфери їх застосування. Що може бути використано в якості природних заземлювачів.

Для захисту обслуговуючого персоналу від ураження електричним струмом застосовується захисне заземлення. А для забезпечення нормальної роботи обладнання в штатному або аварійному режимах використовується робоче заземлення.

Основне призначення захисного заземлення (ЗЗ) полягає в тому, щоб захистити обслуговуючий персонал від ураження електричним струмом в аварійній ситуації. У разі, коли на металевій неструмоведучій поверхні електроустановок раптово з'являється небезпечна напруга. Це може статися в результаті пробоя ізоляції або обриву проводу та його торканні корпусу. В результаті людина піддається небезпечному напрузі.

За ПУЄ: захисне заземлення (ЗЗ) - це навмисне з'єднання металевих частин корпусу обладнання з землею, заземлювачем або його аналогом. Основне завдання полягає в тому, щоб забезпечити обслуговуючий персонал від травм, викликаних ураженням електричним струмом.

Для електроустановок, що живляться напругою до 1000 В від мереж малої довжини з малими струмами замикання на землю (не більше 5 А), опір заземлювального пристрою повинен бути не більше 4 Ом. До таких мереж на підприємствах відносяться мережі з напругою 380/220 В, прокладені на території підприємств від трансформаторних підстанцій для живлення споживачів електроенергії й освітлювальних установок підприємства.

Якщо електроустановка живиться від винесених трансформаторів і генераторів потужністю до 100 кВА опір заземлювального пристрою повинен бути не більшим 10 Ом. До таких мереж відносяться мережі живлення від дизель-генераторних установок.

Електроустановки, що живляться напругою вище 1000 В - до 110 кВ і вище з ефективно заземленою нейтраллю, де струми замикання на землю в мережі досягають значень 50-500 А, опір заземлювального пристрою повинен

					<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
				<i>ДП 2021 141</i>		93	100

бути не більшим 0,5 Ом. Захисне заземлення електроустановок виконують: на всіх електроустановках при напрузі змінного струму 380 В і вище, 440 В і вище - постійного струму.

В електроустановках, розташованих у приміщеннях з підвищеною небезпекою, особливо небезпечних і в зовнішніх установках при номінальних напругах вище 42 В змінного струму і вище 110 В постійного струму; у вибухонебезпечних приміщеннях - для всіх напруг.

Заземлювачі бувають:

- *штучні*, спеціально призначені тільки для заземлення електроустановок,

*природні* - металеві предмети і конструкції в землі.

Заземлювачі штучні можуть бути вертикальними і горизонтальними. Як вертикальні заземлювачі використовують сталеві стрижні, прутки і кутову сталь довжиною 2,5-3 м, а самостійні горизонтальні заземлювачі і для зв'язку вертикальних - смугову сталь і сталевий пруток. Найменші розміри штучних заземлювачів: діаметр пруткових не оцинкованих - 10 мм, перетин прямокутних заземлювачів 48 мм<sup>2</sup>; товщина прямокутних заземлювачів (смугова сталь) і полиць кутової сталі - 4 мм.

Заземлювачі вертикальні забивають за допомогою механізмів у попередньо вириті траншеї глибиною 0,7-0.8 м. Сталеві прутки діаметром 10-12 мм, довжиною 4-4,5 м вкручують за допомогою спеціальних пристосувань.

Розташовують заземлювачі у місцях, де немає підсушування землі від прокладених трубопроводів та інших джерел тепла.

Як штучні заземлювачі, допускається застосовувати бетон, що проводить електрику. Для заземлювачів можна застосовувати метали, що були уживані, але вони не повинні мати сильних ознак корозії, повинні бути очищені від фарби, олів та ізолюючих речовин.

Штучні пристрої на спорудах, які заземлюють, у районах з великим питомим опором ґрунту рекомендується:

- вертикальні заземлювачі більшої довжини (більше 3 м) застосовувати,

					<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
				<i>ДП 2021 141</i>		94	100

- якщо на глибині питомий опір ґрунту менший, ніж ближче до поверхні;
- виносні заземлювачі розташовувати в місцях (до 2 км) з меншим питомим опором ґрунту;
- у траншеї навколо заземлювачів, прокладених горизонтально, укласти вологий глинистий ґрунт, який трамбується і засипається щебенем;
- коли застосування інших заходів неефективне, обробляти ґрунт для зниження його питомого опору.

На практиці у більшості випадків одного заземлювача для забезпечення встановленої норми заземлення недостатньо. У таких випадках забивають декілька заземлювачів по периметру об'єкта, що захищається, чи під об'єктом, що захищається. Таке заземлення називається контурним.

**Природні заземлювачі** - це металеві конструкції будинків, споруд та інших об'єктів чи предметів, що мають добрий електричний контакт з землею. Як природні заземлювачі можуть використовуватися:

- трубопроводи, прокладені в землі (крім трубопроводів для паливних рідин і вибухових газів);
- обсадні труби артезіанських колодязів і шпар;
- арматура залізобетонних конструкцій будинків і споруд, що мають зв'язок з землею;
- свинцеві оболонки кабелів, прокладених у землі;
- заземлювачі опор ліній електропередачі (ЛЕП);
- повітряні ЛЕП, з'єднані з заземлювальним пристроєм електроустановки за допомогою горизонтального троса, якщо він не ізолюваний від опору лінії;
- нульові проводи повітряних ЛЕП напругою до 1000 В з повторними заземлювачами при кількості ліній не менше двох;
- рейкові шляхи магістральних не електрифікованих залізниць;
- під'їзні колії при наявності допоміжного пристрою перемичок між рейками.

					Літ.	Аркуш	Аркушів
				ДП 2021 141		95	100

Заземлювачі природні приєднуються до магістралі заземлення не менше, ніж у двох місцях.

Заземлювачі природні мають малий опір відносно розтікання електричного струму, а тому їхнє використання зумовлює економію металу. Природні заземлювачі використовують без штучних заземлювачів, якщо вони забезпечують встановлену в ПУЕ норму опору, і яка залишається незмінною від сезону до сезону.

### 3. Практичний розрахунок

Людина доторкнулась до фазного проводу трифазної чотирипровідної мережі 380\220 В (частотою 50 Гц) з заземленої нейтралю. Накреслити схеми і визначити напругу дотику ( $U_{\text{дот}}$ ) та силу струму, що проходить через людину ( $I_{\text{л}}$ ) для двох режимів роботи електроустановки: нормальному та аварійному (людина доторкнулась до фазного провідника в момент, коли інший провідник був замкнений на землю через різні опори замикання на землю ( $R_{\text{зам}}$ , Ом).

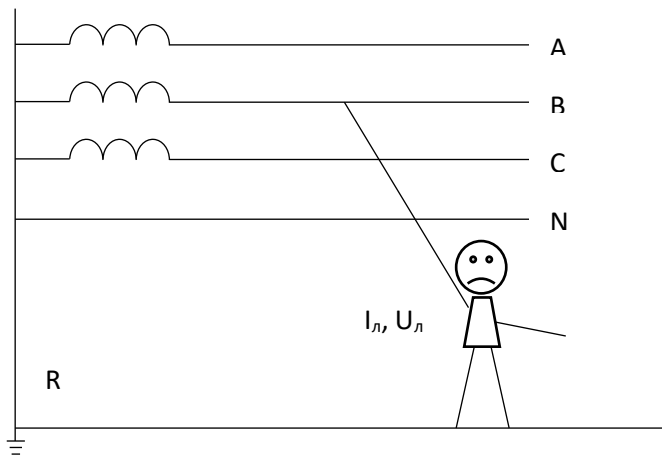
Покажіть, в яких випадках доторкання небезпечніше. В розрахунках прийняти опір тіла людини  $R_{\text{л}}$ , Ом; опір заземлення нейтралі  $R_{\text{о}}$ , Ом; опір ізоляції провідників  $R_{\text{А}} = R_{\text{В}} = R_{\text{С}} = R_{\text{N}} = R$ , кОм; ємність провідників  $C_{\text{А}} = C_{\text{В}} = C_{\text{С}} = C_{\text{N}} = C$ , мкФ.

Вихідні дані для розрахунку:

Вар	$R_{\text{л}}$ , Ом	$R_{\text{о}}$ , Ом	$R$ , кОм	$C$ , мкФ	$R_{\text{зам}}$ , Ом
3	650	3,9	10	0,02	120;60;6;0,4

### Розрахунок:

Дотик людини до фазного провідника під час нормального режиму.



1. Нейтраль вторинної обмотки трансформатора, від якого живиться така мережа, заземлена через  $R_0 \ll R_l$ . У випадку дотику людини до фазного проводу утворюється мережа струму “фазний провід – людина – земля –  $R_0$  – фазний провід C”, в якій всі елементи з’єднані послідовно.

Тоді струм та напруга через людину визначається

$$I_l = \frac{U_\phi}{R_l + R_0}$$

$$U_{\text{дот}} = \frac{U_\phi \cdot R_l}{R_l + R_0}$$

Оскільки в мережі під час нормальної роботи провідності фазного і нульового проводу відносно землі дорівнюють 0 і ємністю провідників можна знехтувати.

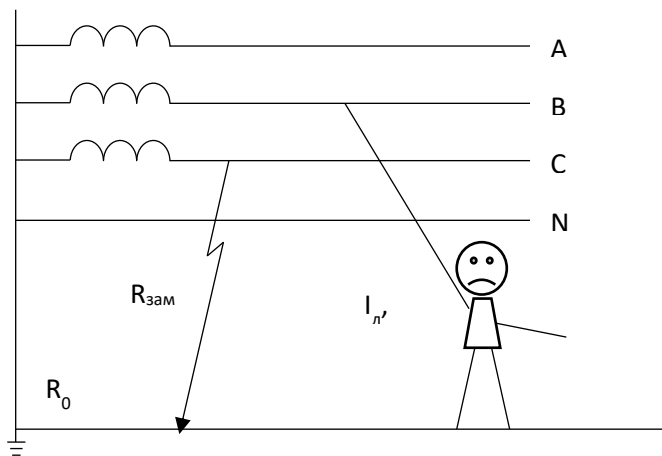
Отже

$$I_l = \frac{U_\phi}{R_l + R_0} = \frac{220}{650 + 3,9} = 0,33 \text{ A}$$

$$U_{\text{дот}} = \frac{U_\phi \cdot R_l}{R_l + R_0} = \frac{220 \cdot 650}{650 + 3,9} = 218 \text{ B}$$

				ДП 2021 141	Літ.	Аркуш	Аркушів
						97	100

Дотик людини до фазного провідника під час аварійного режиму.



1. Під час аварійного режиму напруга через людину у комплексному виді визначається як

$$U_{\text{дот}} = U_{\phi} \cdot \frac{Y_{\text{зам}} \cdot (1 - a) + Y_0}{Y_{\text{зам}} + Y_0 + Y_{\text{л}}}$$

де  $Y_{\text{зам}}$ ,  $Y_0$ ,  $Y_{\text{л}}$  – провідності замикання на землю, заземлення нейтралі та людини. Також прийmemo, що  $Y_A, Y_B, Y_C$  значно малі відносно  $Y_{\text{зам}}$  та  $Y_0$ , та дорівнюють 0.

$$Y_{\text{л}} = \frac{1}{R_{\text{л}}}$$

$$Y_{\text{зам}} = \frac{1}{R_{\text{зам}}}$$

$$Y_0 = \frac{1}{R_0}$$

Тоді напруга визначається:

$$\begin{aligned} U_{\text{дот}} &= U_{\phi} \cdot R_{\text{л}} \cdot \frac{\sqrt{R_{\text{зам}}^2 + 3 \cdot R_{\text{зам}} \cdot R_0 + (R_0 \cdot \sqrt{3})^2}}{R_{\text{зам}} \cdot R_0 + R_{\text{л}}(R_{\text{зам}} + R_0)} = \\ &= U_{\phi} \cdot R_{\text{л}} \cdot \frac{R_{\text{зам}} + R_0 \cdot \sqrt{3}}{R_{\text{зам}} \cdot R_0 + R_{\text{л}}(R_{\text{зам}} + R_0)} \end{aligned}$$

					Літ.	Аркуш	Аркушів
				ДП 2021 141		98	100

А струм :

$$I_{\text{дот}} = U_{\phi} \cdot \frac{R_{\text{зам}} + R_0 \cdot \sqrt{3}}{R_{\text{зам}} \cdot R_0 + R_{\text{л}}(R_{\text{зам}} + R_0)}$$

Підставляємо значення:

$$U_{\text{дот}}^{120} = 220 \cdot 650 \cdot \frac{120 + 3,9 \cdot \sqrt{3}}{120 \cdot 3,9 + 650 \cdot (120 + 3,9)} = 223,769055 \text{ В}$$

$$I_{\text{дот}}^{120} = 220 \cdot \frac{120 + 3,9 \cdot \sqrt{3}}{120 \cdot 3,9 + 650 \cdot (120 + 3,9)} = 0,34426008 \text{ А}$$

$$U_{\text{дот}}^{60} = 220 \cdot 650 \cdot \frac{60 + 3,9 \cdot \sqrt{3}}{60 \cdot 3,9 + 650 \cdot (60 + 3,9)} = 228,5419 \text{ В}$$

$$I_{\text{дот}}^{60} = 220 \cdot \frac{60 + 3,9 \cdot \sqrt{3}}{60 \cdot 3,9 + 650 \cdot (60 + 3,9)} = 0,351603 \text{ А}$$

$$U_{\text{дот}}^6 = 220 \cdot 650 \cdot \frac{6 + 3,9 \cdot \sqrt{3}}{6 \cdot 3,9 + 650 \cdot (6 + 3,9)} = 282,4174 \text{ В}$$

$$I_{\text{дот}}^6 = 220 \cdot \frac{6 + 3,9 \cdot \sqrt{3}}{6 \cdot 3,9 + 650 \cdot (6 + 3,9)} = 0,434488 \text{ А}$$

$$U_{\text{дот}}^{0,4} = 220 \cdot 650 \cdot \frac{0,4 + 3,9 \cdot \sqrt{3}}{0,4 \cdot 3,9 + 650 \cdot (0,4 + 3,9)} = 365,8655 \text{ В}$$

$$I_{\text{дот}}^{0,4} = 220 \cdot \frac{0,4 + 3,9 \cdot \sqrt{3}}{0,4 \cdot 3,9 + 650 \cdot (0,4 + 3,9)} = 0,56287 \text{ А}$$

Заповнимо таблицю:

$R_{\text{зам}}, \text{ Ом}$	120	60	6	0,4
$U_{\text{дот}}, \text{ В}$	223,769055	228,5419	282,4174	365,8655
$I_{\text{дот}}, \text{ А}$	0,34426008	0,351603	0,434488	0,56287

Висновок:

Таким чином, дотик людини до справного фазного проводу мережі з заземленою нейтраллю в аварійний період небезпечніше, ніж при нормальному режимі.

## 18.Список використаної літератури

1. Шестеренко В.Є. «Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. Підручник.» -Вінниця: Нова Книга, 2004.- 656с.
2. <http://www.nik.net.ua/ru/product/nik-2300-new-6>
3. «Правила улаштування електроустановок» 4-те вид, перероб. й доп.- Х.: Вид-во «Форт», 2011.- 736с.
4. <https://ptk-veles.in.ua/aabl-10/aabl-10-3h70/>
5. <https://legrand.ua/>
6. <https://reلسis.ua/>
7. <https://www.moeller.kiev.ua/>
8. С.Л. Михайлюта , В.І. Биков, Г.С. Михайлюта « Методи та засоби вдосконалення обчислювального пристрою систем керування об'єктів з асинхронними машинами. Вісник ЧДТУ»- Черкаси ЧДТУ- 2010-№2
9. О.М. Закладний, А.В. Праховник, О.І. Соловей Навчальний посібник «Енергозбереження засобами промислового електропривода» - Кондор- 2005
10. Черкасский В. М. Насосы, вентиляторы, компрессоры: учебник для теплоэнергетических специальностей вузов / В.М. Черкасский — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 416 с.
11. НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок» (зі змінами)
12. «Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів» наказ МІНІСТЕРСТВО ПАЛИВА ТА ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ від 25.07.2006 № 258 із змінами.

Зм. Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>ДП 2021 141</i>			
Розробив	Туранська Т.В.			Список використаної літератури	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Мащенко О.А.					100	100
					<i>ННІТІ ім.акад.І.С.Гулого ЗЕЛ-5-3</i>		
Затвердив	Балюта С.М.						