

**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: «Вдосконалення СЕП Брусилівського молокозаводу з розробкою методів симетрування трифазної напруги.»

Виконав: здобувач 5 курсу, групи ЗЕЛ 5-8ск

Петренко Валентин Ростиславович  
(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник Шестеренко Володимир Євгенович  
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Консультанти Сірик А.О.  
(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Рецензент

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

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

Здобувач

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ - 2021р.

## АНОТАЦІЯ

**Петренко В. Р.** Вдосконалення СЕП Брусилівського молокозаводу з розробкою методів симетрування трифазної напруги.

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Національний Університет Харчових Технологій, Київ 2021

У дипломній роботі розглянуто питання та розв'язані актуальні задачі в вдосконаленні СЕП Брусилівського молокозаводу з розробкою методів симетрування трифазної напруги а саме розкриті такі теми: схема електропостачання молокозаводу; характеристика електроспоживачів; розрахунок електричного навантаження; розрахунок картограми навантажень; вибір системи напруг.

Окремим розділом проаналізовано економічну вигоду проекту, встановлення автоматизованої системи контролю та обліку електроенергії дасть можливість здійснити технічний облік споживаної електроенергії по об'єктах молокозаводу, що в свою чергу створить умови правильного використання електроенергії і можливість її економії.

Система обліку і наближення електронавантаження підприємства до максимального заявленого дозволить прийняти необхідні заходи і уникнути порушень та штрафних санкцій "Енергонагляду". Економічний ефект від впровадження системи обліку буде одержаний шляхом зниження вартості електроенергії, використаної заводом, на величину порядку 1,5% за рахунок упорядкування роботи обладнання, зниження заявленої потужності в часи максимуму енергосистеми, скорочення зайнятості персоналу, який обслуговує пристрої обміну електроенергії.

**ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ; ВИРОБНИЧИЙ ЦЕХ;  
ТРАНСФОРМАТОР; НАПРУГА; СТРУМ**

ДП 2021 141

Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Петренко В. Р.			Анотація	Лім.	Лист	Листів
Перевір.		Шестеренко В.Є					3	
Реценз.						ЗЕЛ 5-8ск.ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М						

## ANNOTATION

Petrenko VR Improvement of EPS of Brusyliv dairy plant with development of methods of balancing of three-phase voltage.

141 "Electric power, electrical engineering and electromechanics"

National University of Food Technology, Kyiv 2021

In the diploma work the questions are considered and actual problems in improvement of EPS of Brusyliv dairy plant with development of methods of balancing of three-phase voltage are solved, namely the following topics are opened: the scheme of power supply of dairy plant; kharakterystyka elektrospozhyvachiv; rozrakhunok elektrychnoho navantazhennya; rozrakhunok kartohramy navantazhen'.

Okremym rozdilom proanalizovano ekonomichnu vyhodu proektu, vstanovlennya avtomatyzovanoj systemy kontrolyu ta obliku elektroenerhiyi dast' mozhlyvist' zdiysnyty tekhnichnyy oblik spozhyvanoj elektroenerhiyi po ob'yektakh molokozavodu, shcho v svoju cherhu stvoryt' umovy pravyl'noho vykorystannya elektroenerhiyi i mozhlyvist' yiyi ekonomiyi

characteristics of electricity consumers; calculation of electrical load; calculation of load map; voltage system selection.

A separate section analyzes the economic benefits of the project, the installation of an automated control and metering system will allow for technical accounting of electricity consumption at the dairy, which in turn will create conditions for proper use of electricity and the possibility of saving it.

The system of accounting and approximation of the electric load of the enterprise to the maximum declared will allow to take necessary measures and to avoid violations and penalties of "Energy supervision". The economic effect of the implementation of the metering system will be obtained by reducing the cost of electricity used by the plant by about 1.5% by streamlining the equipment, reducing the declared capacity at peak times of the power system, reducing employment of personnel servicing electricity exchange devices.

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

					ПІТ 2021 141	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		4

## АННОТАЦИЯ

Петренко В. Р. Совершенствование СЭП Брусиловского молокозавода с разработкой методов симметрирования трехфазного напряжения.

141 «Электроэнергетика, электротехника и электромеханика»

Национальный Университет Пищевых Технологий Киев 2021

В дипломной работе рассмотрены вопросы и решены актуальные задачи в совершенствовании СЭП Брусиловского молокозавода с разработкой методов симметрирования трехфазного напряжения а именно раскрыты следующие темы: схема электроснабжения молокозавода; характеристика электропотребителей; расчет электрической нагрузки; расчет картограммы нагрузок; выбор системы напряжений.

Отдельным разделом проанализированы экономическую выгоду проекта, установление автоматизированной системы контроля и учета электроэнергии позволит осуществить технический учет потребляемой электроэнергии по объектам молокозавода, что в свою очередь создаст условия правильного использования электроэнергии и возможность ее экономии.

Система учета и приближения электронагрузки предприятия до максимального заявленного позволит принять необходимые меры и избежать нарушений и штрафных санкций "Энергонадзора". Экономический эффект от внедрения системы учета будет получен путем снижения стоимости электроэнергии, использованной заводом, на величину порядка 1,5% за счет упорядочения работы оборудования, снижение заявленной мощности во времена максимума энергосистемы, сокращение занятости персонала, обслуживающего устройства обмена электроэнергии.

**Электроснабжение, производственный цех, трансформатор, напряжение, ток.**

					ПП 2021 141	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		5

## Зміст

	Стор.
1. Вступ	8
2. Характеристика заводу	9
2.1. Характеристика технологічного процесу	9
3. Схема електропостачання молокозаводу	12
3.1. Розподільчі пристрої 10 кВ	12
3.2. Трансформаторні підстанції 10 / 0,4 кВ	13
3.3. Зовнішні електромережі 10 кВ	13
3.4. Внутрішні електромережі та зовнішнє освітлення	13
4. Характеристика електроспоживачів	18
5. Розрахунок електричних навантажень	17
5.1. Визначення розрахункової потужності групи електроспоживачів, що працюють за постійним графіком навантаження	17
5.2. Визначення розрахункової потужності групи електроспоживачів, що працюють за змінним графіком навантаження	18
5.3. Визначення розрахункової потужності освітлювальних установок	18
5.4. Розрахункова потужність та розрахунковий струм цеху	18
5.5. Розрахункова потужність підприємства	19
6. Розрахунок та побудова картограми навантажень	21
7. Вибір системи напруг	23
8. Вибір схеми електропостачання	25
9. Проектування цехової мережі	26
9.1. Визначення розрахункової потужності та струмів електроспоживачів	26
9.2. Вибір автоматичного вимикача на РП	28
9.3. Вибір перерізу проводів цехової мережі	29
9.4. Вибір автоматичного вимикача для захисту кабельної лінії, що живить РП	31
9.5. Вибір силового кабеля живлення цеху	32
9.6. Розрахунок втрат напруги в лінії живлення	35
10. Вибір силових трансформаторів	37
10.1. Вибір трансформаторів з врахуванням їх допустимих перевантажень	38
10.2. Вибір числа і потужності трансформаторів на ТП	43
10.3. Вибір КТП	44
11. Вибір струмоведучих елементів	46
11.1. Вибір шин 10 кВ	46
11.2. Вибір перерізу кабельної лінії, що живить силові трансформатори (10 кВ)	47
12. Розрахунок струмів короткого замикання	48

ДП 2021 141				
Змн.	ЛЗист	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Петренко В.Р..		
Перевір.		Шестеренко В.С.		
Реценз.				
Н. Контр.				
Затверд.		Балюта С.М		

Зміст	Лім.	Лист	Листів
	6		
ЗЕЛ 5-8ск.ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого			

12.1. Визначення параметрів схеми заміщення	50
12.2. Розрахунок струмів короткого замикання	51
13. Вибір обладнання	54
13.1. Вибір високовольтних вимикачів	54
13.2. Вибір вимірювальних трансформаторів струму	55
13.3. Вибір вимірювальних трансформаторів напруги	57
14. Релейний захист	59
15. Вибір конденсаторних установок	64
15.1. Автоматичне регулювання конденсаторних установок	65
16. Розрахунок електричного освітлення цеху	67
17. Облік електроенергії та її економія	71
18 Охорона праці	75
18.1. Обґрунтування рішення щодо розміщення електротехнічного обладнання	75
18.1.1 Загальна характеристика електроустановок	75
18.1.2 Вимоги до виробничих і допоміжних приміщень з електроустановками	81
18.2 Організаційні та технічні заходи з охорони праці	82
18.2.1 Небезпека включення людини в електричну мережу	82
18.2.2 Небезпека прямого дотику до струмовідних частин трифазних мереж	83
18.3. Практичний розрахунок	88
Література	93

## 1. Вступ

Для раціонального використання матеріальних та трудових ресурсів, досягнення високих і стабільних темпів росту об'єму виробництва необхідно проводити технічне і технологічне переозброєння виробничого процесу. Велику роль, особливо в період становлення нашої самостійної Держави, відіграє економне використання енергетичних ресурсів.

На підприємствах необхідно впроваджувати автоматизовані системи обліку електроенергії і управління електроспоживачами. Це дасть можливість здійснювати технічний облік використаної електроенергії, що, в свою чергу, створить умови для правильного використання і можливості її економії. Економічний ефект від впровадження системи обліку електроенергії буде отримано шляхом зниження собівартості електроенергії, яку споживає підприємство, за рахунок упорядкованої роботи електрообладнання, особливо в часи максимуму навантаження.

Підприємства по переробці молока відіграють важливу роль в економіці країни. Продукція їх є життєво необхідною, вона завжди користується широким попитом, однак при низькій купівельній спроможності населення, складностях доставки сировини та продукції, постійно зростаючих цінах на енергоносії та ін. виникають складності з реалізацією та зберіганням готової продукції. Працівникам всіх служб підприємств доводиться прикладати максимум зусиль, щоб у таких ситуаціях виробництво не було збитковим, і максимально забезпечувати потребу населення у молочній продукції.

ДП 2021 141

Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Петренко В.Р			Вступ	Лім.	Лист	Листів
Перевір.		Шестеренко В.С					8	
Реценз.						ЗЕЛ 5-8ск.ННІТІ ім. акад. І.С.Гулоого		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М						

## 2. Характеристика молокозаводу

На заводі функціонують такі виробничі цехи:

1. маслоцех-1000 кг/добу;
2. цех виробництва пастеризованого молока-10 тис. л/год;
3. цех по виробництву заміниці цільного молока-400 кг вип. волог/год;
4. цех по виробництву кисломолочних продуктів (сметани, кефіру, творогу, сиру);
5. котельня;
6. газорозподільний пункт, механічні майстерні, їдальня, оздоровчий комплекс, складські приміщення.

Теплозабезпечення заводу здійснюється від власної котельні, електро- і газо забезпечення - від міської мережі.

Водозабезпечення власне. На заводі не передбачені аварійні джерела електропостачання та резервні види палива для котельні.

Робота основних виробничих цехів проводиться у дві зміни (по 12 годин).

### 2.1. Характеристика технологічного процесу

В основу технологічної схеми заводу покладені прогресивна технологія з застосування нового високовиробничого обладнання, з врахуванням поточності технологічних процесів, максимальної механізації та автоматизації технологічних процесів.

Основне технологічне обладнання підібране у відповідності з кількістю перероблюваної сировини, технологічними інструкціями по виробництву молочної продукції та нормами технологічного проектування підприємств молочної промисловості.

Технологічне обладнання забезпечує приймання та переробку молочної сировини, розфасовку, упаковку та складування готової продукції. Перед

ДП 2021 141

Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Петренко В. Р			Лім.	Лист	Листів
Перевір.		Шестаренко В С				9	
Реценз.					ЗЕЛ 5-8ск.ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого		
Н. Контр.							
Затверд.		Балюта С.М					

відвантаженням споживачу продукція проходить ретельний контроль фізико-хімічний і мікробіологічний аналіз, що гарантує її високу якість.

Для покращення умов приймання молока запроєктоване приймально-миюче відділення, яке зможе приймати більш завантаженні автоцистерни та цистерни з причепами.

Для зберігання сирого молока та обороту передбачені вітчизняні танки ємністю 25 тис. л з установкою їх поза спорудою, для нормалізованих сумішей та зберігання продуктів перед розливом - танки ємністю 10; 6,3; 1,2 тис. л, для збирання та зберігання сироватки - танки ємністю 4 тис. л, для сметани та проміжного зберігання вершків - танки ємністю 1, 2; 4 тис. л.

Для теплової обробки молока передбачені автоматизовані пастеризаційно-охолоджувальні установки продуктивністю 10 тис. л/год. та 5 тис. л/год. Для розливу молока та кефіру в пляшки передбачена лінія розливу продуктивністю 3 тис. пляшок /год., для розливу сметани - автомат продуктивністю 2,7 тис. год.

Виробництво кисломолочних продуктів та сметани передбачено резервуарним способом, творага-звичайним традиційним методом у ваннах ВК-2.5 ємністю 2,5 тис. л, любительського сиру - в сироробній ванні ємністю 5 тис. л. Для вироблення масла передбачена лінія виробництва масла методом безперервного збивання продуктивністю 1 тис. кг/год.

Для згущення суміші при виробництві замітника цільного молока використовується вакуум-випарна установка "Вигад" продуктивністю 400 кг вологи/год., для сушки замітника цільного молока використовується сушильна установка, продуктивністю 500 кг вологи/годину.

Для миття обладнання та молокопроводів застосовуються автоматизовані установки В2-ОЦА.

За допомогою лічильників та ваг передбачено поцеховий облік сировини та готової продукції.

					ДП 2021 141	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		10

Даним проектом передбачена безвідходна технологія з комплексним використанням вторинної сировини:

- пахта використовується для нормалізації молока при виробництві цільномолочної продукції та для виробництва творогу;
- творожна сироватка – в хлібопекарській промисловості;
- підсирна сироватка та знежирене молоко – на виробництво ЗЦМ

					ДП 2021 141	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		11

### 3. Схема електропостачання молокозаводу

В відповідності з технічними умовами джерелом електроенергії є районна підстанція 35 / 7 / 10 кВ, в якій необхідно виконати розширення другої черги з встановленням трансформатора 2,5 МВА, другої секції шин 10 кВ з СВ - 35 та 10 кВ з устаткуванням АВР.

Електропостачання заводу виконується від трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ, що проектується, на території заводу.

Одна комплектна трансформаторна підстанція вмонтована в виробничий корпус, друга - вмонтована в котельні.

В виробничому корпусі обладнується РП - 10 кВ, від якої по раціональним лініям живляться трансформаторні підстанції.

Вводи та виводи спроектованого РП - 10 кВ виконуються окремо.

Компенсація реактивної потужності здійснюється на стороні 0,4 кВ підстанції за допомогою двох конденсаторних установок типу УКМ-0,4-450-67УЗ.

Облік електроенергії здійснюється на низькій стороні за допомогою лічильників активної та реактивної енергії.

#### 3.1. Розподільчі пристрої 10 кВ(РП - 10 кВ)

РП-10 кВ складається з 15 шаф типу КСО-285, із яких шафи вводу, шафи з трансформаторами напруги, шафи з розрядниками, шафи відходящі, секційний вимикач з АВР.

Всі шафи передбаченні з масляними вимикачами. Розташування шаф - у два ряди.

					<i>ДП 2021 141</i>			
Змн.	Л12ист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Петренко В. Р.			Схема електропостачання молокозаводу	Лім.	Лист	Листів
Перевір.		Шестеренко В.С					12	
Реценз.						<i>ЗЕЛ 5-8ск.ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого</i>		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М						

### 3.2. Трансформаторні підстанції 10 / 0,4 кВ (ТП 10 /0,4)

У виробничому корпусі вмонтована комплектна трансформаторна підстанція з двома трансформаторами Хмельницького заводу. Складається з шаф: високовольного вводу типу ВВ-1, низьковольного вводу ШНВ-2УЗ, відходящих ліній ШНЛ-ЗУЗ, секційного типу ШНС-2, ВКТП передбачене АВР на низькій стороні.

Від цієї підстанції живляться струмоприймачі виробничого корпусу, адміністративно - побутового корпусу (АПК), зовнішнє освітлення, прохідна, градири, водопровідна насосна станція.

### 3.3. Зовнішні електромережі 10 кВ

Згідно проекту електропостачання підприємства здійснюється повітряною лінією, напругою 10 кВ від районної підстанції 35/10. Загальна розрахункова потужність  $S_p = 1700 \text{кВт}$ .

$$\text{Струм в лінії } I_p = \frac{1700}{1,73 \cdot 10 \cdot 0,75} = 105 \text{А.}$$

При економічній густині струму  $j_e = 1,1 \text{А/мм}^2$  переріз повітряної лінії дорівнює  $S = \frac{I_p}{j_e} = 95 \text{мм}^2$ .

Повітряну лінію приймаємо перерізом АС – 95 мм<sup>2</sup> довжиною – 6.

### 3.4. Внутрішні електричні мережі та зовнішнє освітлення

Внутрішні електромережі 10 кВ від РП – 10 кВ до ТП виконуються кабелем ААШв 3х50 мм<sup>2</sup> довжиною – 250 м.

Розподільчі мережі 0,4 кВ від трансформаторних підстанцій та мережі зовнішнього освітлення виконуються кабелями АВВГ – 1 кВ.

На території промислового майданчика кабелі прокладають у траншеї по всій довжині захищені цеглою від механічних пошкоджень.

Вводи виконуються в азбоцементних трубах.

Проектом передбачене внутрішнє та зовнішнє освітлення.

					ДП 2021 141	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		13

Внутрішнє освітлення передбачене загальним (робоче, аварійне, місцеве та ремонтне).

Місцеве освітлення виконується стаціонарним в лабораторних приміщеннях АПК, а переносне – у виробничих приміщеннях.

Робоче та аварійне освітлення виконується напругою – 220 В, місцеве ремонтне напругою – 36 та 12 В.

В аміачній компресорній застосовуються також, при повному зникненні напруги на шинах підстанції, переносні акумуляторні ліхтарі.

Освітлення робочих місць та поверхонь прийнята згідно КІП “Норми проектування” природне та неприродне.

Світильники в основних виробничих приміщеннях з люмінесцентними лампами, в допоміжних приміщеннях – лампи розжарювання.

У якості групових освітлювальних щитів - щити типу ОЩВ – 6. Керування освітленням основних приміщень виконується зі щитів автоматичними вимикачами та індивідуальними вимикачами.

Мережа електричного освітлення виконується кабелем АВВГ з кріпленням на скобах по стіні, струні та тросу.

Освітлення приміщень та споруд, які будуються по новим проектам, виконуються у відповідності до цих проектів з врахуванням прив'язки.

Передбачено зовнішнє освітлення території заводу світильниками з ртутними лампами типу СЕПР – 250.

Світильники підвішуються на залізобетонних опорах на кронштейнах.

Для живлення та керування зовнішнім освітленням передбачена пускова та фотореле, розміщені в приміщенні вахтера (прохідній).

					ДП 2021 141	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		14

#### 4. Характеристика електроспоживачів

У відношенні забезпечення надійності електропостачання струмоприймачів заводу згідно СН 124 – 72 “Вказівки по будівельному проектуванню підприємств, приміщень та споруд харчової промисловості” відносяться: 40% – до II категорії, 50% – до III категорії, 10% - до I категорії.

Основними силовими струмоприймачами є асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором напругою 380 / 220 В, комплектно доставлені з технологічним, сантехнічним і холодильним обладнанням.

Електродвигуни в нормальному захищеному виконанні.

У якості споживаючої, захисної та пускової апаратури прийняті розподільчі силові щити типу ПР – 11, ПР – 24, НКУ, комплектно прилади керування, шафи керування, збірки магнітних пускачів, доставлені комплектно з технологічним, сантехнічним, холодильним обладнанням.

Силові розподільчі щити, в основному, встановлюються в щитових.

Захист електродвигунів від короткого замикання і перевантаження виконується тепловим реле й розчеплювачами автоматів та нагрівачами елементами магнітних пускачів.

Керування електродвигунами здійснюється вручну та автоматично.

Магістральні і розподільчі мережі виконуються кабелем АВВГ розрахункових перерізів, прокладених відкрито на лотку по стінам з кріпленням скобами та проводом АПВ з прокладкою в трубах.

Проводи до електроприймачів та електроапаратури на лотку до 2м захищаються трубами, а вводи в коробки електродвигунів виконуються в металорукаві.

					<i>ДП 2021 141</i>			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Петренко В. Р.			<b>Характеристика електроспоживачів</b>	Літ.	Лист	Листів
Перевір.		Шестеренко В.Є					15	
Реценз.						<i>ЗЕЛ 5-8ск.ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого</i>		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М						

У відповідності з характером виробництва і характеристикою середовища електроустановки, електрообладнання, електроапаратура прийняті, в основному, в нормальному захищеному виконанні,

за виключенням приміщень аміачної компресорної, де виконані потреби ПУЕ в частині електрообладнання приміщень класу В – І б.

За умовами електробезпеки основні виробничі допоміжні приміщення споруд та будівель відносяться до приміщень з підвищеною небезпекою.

Таблиця 4.1

### Основні показники електропостачання підприємства

Найменування	Кількість	Одиниці вимірювання
Напруга:	10	кВ
а) джерела електропостачання		–
б) силові електроприймачі	0,4	–
в) освітлення	0,22	–
Встановлена потужність силового і освітлювального обладнання	2475	кВт
Споживаюча потужність	1700	кВт
Трансформатор:		
а) в виробничому корпусі	2x1000	кВА
б) в котельні	2x250	кВА
Коефіцієнт попиту	0,6	
Річне споживання електроенергії	7694,4	тис. кВт. год
Коефіцієнт потужності з врахуванням компенсації	1,0	–

## 5. Розрахунок електричного навантаження

Визначення електричних навантажень є першим і дуже важливим етапом проектування, оскільки величини електричних навантажень є вихідними даними для розв'язання складного комплексу технічних і пов'язаних з ними економічних питань, які виникають при проектуванні систем електропостачання промислового підприємства. За величинами електричних навантажень вибирають елементи систем електропостачання(СЕП), визначають втрати потужності. Від правильної оцінки очікуваних навантажень залежать : величина капітальних витрат в СЕП, надійність роботи та термін експлуатації СЕП або окремих її елементів, експлуатаційні витрати тощо.

Слід зауважити, якщо при проектуванні помилково занижити розрахункову потужність, всі елементи СЕП будуть перегріватися; процес старіння ізоляції прискориться, термін служби елементів СЕП (кабелів, трансформаторів і ін.) зменшиться і вони будуть аварійно виходити з ладу. Якщо ж помилково розрахункову потужність збільшити, то термін служби елементів СЕП збільшиться, але використати цей термін не вдається внаслідок морального старіння обладнання.

Є декілька методів визначення розрахункової потужності підприємств. Якщо відомі електроприймачі підприємства, то доцільно використовувати досить точний метод розрахунку розрахункової потужності: *метод коефіцієнту максимуму*. Суть цього методу полягає у наступному: усі споживачі, що є на підприємстві (окрім таких, що працюють в короткочасному режимі і резервних, які при визначенні розрахункової потужності групи споживачів не враховуються) поділяють на дві групи:

- ті, що працюють за постійним графіком навантаження;
- ті, що працюють за змінним графіком навантаження.

					<i>ДП 2021 141</i>		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Петренко В. Р.				Літ.	Лист	Листів
Перевір.	Шестеренко В.С				17		
Реценз.					. Розрахунок електричного навантаження <i>ЗЕЛ 5-8ск.ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого</i>		
Н. Контр.							
Затверд.	Балюта С.М						

## 5.1. Визначення розрахункової потужності групи споживачів, що працюють за постійним графіком навантаження

- Сумарна номінальна активна та реактивна потужність групи

$$\bullet \quad P_{ном}^- = \sum P_{номі}^- ; \quad Q_{ном}^- = P_{ном}^- \cdot tg \varphi_{номі}^- ,$$

- де  $P_{номі}^-$  – номінальна потужність  $i$  – того споживача групи, що розглядаємо;
- $tg \varphi_{номі}^-$  – тангенс кута коефіцієнта потужності.
- Середня потужність (активна та реактивна) групи за максимально завантаженою зміну

$$\bullet \quad P_{см}^- = \sum (p_{номі}^- \cdot \kappa_{ві}), \quad Q_{см}^- = P_{см}^- \cdot tg \varphi_{номі}^- ,$$

- де  $\kappa_{ві}$  – коефіцієнт використання  $i$  – того споживача.
- Визначення розрахункової потужності групи

$$\bullet \quad P_p^- = P_{см}^- , \quad Q_p^- = Q_{см}^- .$$

## 5.2. Визначення розрахункової потужності групи споживачів, що працюють за змінним графіком навантаження

- Сумарна номінальна активна та реактивна потужність групи

$$\bullet \quad P_{ном}^{\sim} = \sum P_{номі}^{\sim} ; \quad Q_{ном}^{\sim} = P_{ном}^{\sim} \cdot tg \varphi_{номі}^{\sim} .$$

- Середня потужність (активна та реактивна) групи за максимально завантаженою зміну

$$\bullet \quad P_{см}^{\sim} = \sum (p_{номі}^{\sim} \cdot \kappa_{ві}) ; \quad Q_{см}^{\sim} = P_{см}^{\sim} \cdot tg \varphi_{номі}^{\sim} .$$

- Груповий коефіцієнт використання

$$\bullet \quad \kappa_{г}^{2p} = \frac{P_{см}^{\sim}}{P_{ном}^{\sim}}$$

- Розрахунковий коефіцієнт  $m$

$$\bullet \quad m = \frac{P_{ном \max}^{\sim}}{P_{ном \min}^{\sim}}$$

- **5.3. Визначення розрахункової потужності групи споживачів, що працюють за постійним графіком навантаження**

- Сумарна номінальна активна та реактивна потужність групи

$$\bullet \quad P_{ном}^- = \sum P_{номі}^- ; \quad Q_{ном}^- = P_{ном}^- \cdot tg \varphi_{номі}^- ,$$

- де  $P_{номі}^-$  – номінальна потужність  $i$  – того споживача групи, що розглядаємо;

- $tg \varphi_{номі}^-$  – тангенс кута коефіцієнта потужності.

- Середня потужність (активна та реактивна) групи за максимально завантаженою зміну

$$\bullet \quad P_{см}^- = \sum (p_{номі}^- \cdot \kappa_{ві}), \quad Q_{см}^- = P_{см}^- \cdot tg \varphi_{номі}^- ,$$

- де  $\kappa_{ві}$  – коефіцієнт використання  $i$  – того споживача.

- Визначення розрахункової потужності групи

$$\bullet \quad P_p^- = P_{см}^- , \quad Q_p^- = Q_{см}^- .$$

- **5.4. Визначення розрахункової потужності групи споживачів, що працюють за змінним графіком навантаження**

- Сумарна номінальна активна та реактивна потужність групи

$$\bullet \quad P_{ном}^{\sim} = \sum P_{номі}^{\sim} ; \quad Q_{ном}^{\sim} = P_{ном}^{\sim} \cdot tg \varphi_{номі}^{\sim} .$$

- Середня потужність (активна та реактивна) групи за максимально завантаженою зміну

$$\bullet \quad P_{см}^{\sim} = \sum (p_{номі}^{\sim} \cdot \kappa_{ві}) ; \quad Q_{см}^{\sim} = P_{см}^{\sim} \cdot tg \varphi_{номі}^{\sim} .$$

•

- Груповий коефіцієнт використання

$$\bullet \quad \kappa_v^{2p} = \frac{P_{см}^{\sim}}{P_{ном}^{\sim}}$$

- Розрахунковий коефіцієнт  $m$

$$\bullet \quad m = \frac{P_{ном \max}^{\sim}}{P_{ном \min}^{\sim}}$$

- За методом питомої потужності визначаємо активну складову розрахункової потужності ОУ

$$P_{po} = p_{po} \cdot S = 0,0015 \cdot 946 = 14,2 \text{ кВт}$$

- Оскільки переважну більшість ОУ підприємства складають люмінесцентні лампи, які працюють з коефіцієнтом потужності  $\cos \varphi = 0,8$  то реактивна складова розрахункової потужності цеху ЗЦМ дорівнює

$$Q_{po} = P_{po} \cdot \text{tg} \varphi = 14,2 \cdot 0,8 = 3,36 \text{ кВар}$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{1787,9^2 + 1221,7^2} = 2165,4 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

### 5.5. Розрахункова потужність підприємства

$$P_p = 1787,9 \text{ кВт}$$

$$Q_p = 1221,7 \text{ кВар}$$

№ цеху	Найменування цехового обладнання	кількість	P <sub>уст</sub> кВт	P <sub>заг</sub> кВт	m	К <sub>б</sub>		Сер. пот. за тах завант. змїну		N <sub>e</sub>	K <sub>M</sub>	Розрахункова потужність		
								P <sub>см</sub>	Q <sub>см</sub>			P <sub>p</sub>	Q <sub>p</sub>	S <sub>p</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Маслоцех													
1	Масловиробник РЗ-ОБС	1	6,3	6,3		0,4	0,8/0,75	1,89	1,42					
2	Насос НРМ-5	2	1,5	3,0		0,4	0,8/0,75	1,2	0,9					
3	Танк універсальний	1	0,75	0,75		0,3	0,7/1,02	0,225	0,23					
4	Насос центробіжний	1	1,5	1,5		0,4	0,7/1,02	0,6	0,612					
5	Даховий вентилятор	2	5,4	10,8		0,3	0,6/1,33	3,24	4,31					
6	Даховий вентилятор	1	2,2	2,2		0,3	0,6/1,33	,66	0,88					
7	Даховий вентилятор	1	7,0	7,0		0,3	0,6/1,33	2,1	2,79					
8	Навантаження	9	24,65	30,05		0,33	0,68/1,08	9,92	10,53	8,6	1,5	14,8	11,6	18,9
9	Освітлення	-	-	2,52		1,0	1/0	2,52	-			2,52	-	-
	Всього	9	24,65	32,57		0,38	0,75/0,88	12,4	11,14			17,1	11,6	
	Апаратне відділення													
1	Пастеризаційно - охолоджувальна установка А1 -ОПК-2	2	1,5	3,0		0,4	0,8/0,75	1,2	0,9					
2	Пастеризаційно - охолоджувальна установка	1	4,0	4,0		0,4	0,8/0,75	1,6	1,2					
3	Сепаратор молокоочищувальний	1	5,5	5,5		0,3	0,7/1,02	1,65	1,683					
4	Таль електрична	1	0,96	0,96		0,3	0,7/1,02	0,28	0,29					
5	Гомогенізатор	1	11	11		0,4	0,8/0,75	4,4	3,3					





## 6. Розрахунок картограми навантажень

Цехові трансформаторні та розподільчі підстанції всіх потужностей та напруг необхідно розміщувати якомога ближче до центрів навантажень, оскільки це дозволяє наблизити вищу напругу до центру споживання електроенергії і значно скоротити протяжність як мереж високої, так і низької напруги, а також зменшити витрати провідникового матеріалу і зменшити втрати електроенергії в розподільчих мережах.

Картограма навантажень дозволяє безпосередньо представити розподілення електричних навантажень по території підприємства. Використання картограми при розміщенні підстанцій дозволяє уникати серйозних помилок. Для полегшення роботи щодо розміщення підстанції на генеральний план підприємства наноситься картограма навантажень (аркуш 1).

Картограма являє собою розміщені на генплані кола, площа яких відповідає у певному масштабі ( $m\pi r^2$ ) розрахунковим навантаженням. При побудові картограми навантажень окремих цехів підприємства центри кіл співпадають із центрами ваги геометричних фігур, що зображають на плані цехову трансформаторну підстанцію. Для кожного цеху креслять коло, центр якого збігається з центром навантажень цеху. Площа кола  $\pi r^2$  у вираженому масштабі  $m\pi r^2$  дорівнює повному навантаженню цеху,  $\kappa B \cdot A$ .

$$S_i = \pi \cdot r^2 \cdot m \quad \text{або} \quad S_i = \frac{\pi \cdot d_i^2}{4} \cdot m$$

З попереднього виразу визначається радіус кола:

$$r_i = \sqrt{\frac{S_i}{\pi \cdot m}},$$

де  $S_i$  - потужність  $i$ -го цеху,  $\kappa B \cdot A$ ;

					<i>ДП 2021 141</i>		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Петренко В. Р.				Літ.	Лист	Листів
Перевір.	Шестеренко В.С				21		
Реценз.					Розрахунок картограми навантажень  <i>ЗЕЛ 5-8ск.ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого</i>		
Н. Контр.							
Затверд.	Балюта С.М						

$r_i$  - радіус кола для  $i$  - го цеху,  $мм^2$ ;

$m$  – масштаб площі круга,  $кВ\cdot А/см^2$  або  $кВ\cdot А/мм^2$ .

Кожне коло поділяється на сектори, які відповідають відношенню освітлювального навантаження до силового.

Кут  $\gamma$ , що обмежує сектор навантаження ОУ:

$$\gamma = \frac{P_0}{P_m} \cdot 360^\circ.$$

Кола на картограмі навантажень відповідають у повному масштабі розрахунковому навантаженню. Площі кіл пропорційні навантаженням, а центри збігаються з центрами навантажень по цехам.

Радіус кола  $i$  -го цеху визначається за формулою:

$$r_i = \sqrt{\frac{P_i}{\pi \cdot m}}$$

де  $P_i$  – потужність  $i$  – го цеху.

Результати розрахунків зводимо в табл.6.1

№ цеху	$P_{пн,в}$ $Вт/м^2$								
1.Адміністративно – побутовий корпус	15	350	5,25	32,25	98	330	13,06	46,8	
2 <sup>А</sup> . Головний виробничий корпус	15	2246	33,7	106,4	197	186	23,76	54	
2 <sup>Б</sup> . ЦехЗЦП	15	946	14,2	486,1	184	320	50,79	7,2	
3. Котельня	15	826	12,4	258,5	303	327	37,93	1,08	
4. Блок складів з навісом, зарядні та майстерні	4	556	2,22	71,2	436	305	19,43	12,9	
5. Градирня двосекційна для холодильних установок	15	38,4	0,58	44,58	290	182	15,39	10,8	
6. Градирня двосекційна для вакуумних апаратів	15	38,4	0,58	44,58	290	207	15,39	10,8	
7. Каналізаційна насосна станція	15	52,8	0,79	38,5	438	425	14,29	21,6	
8. Блок насосної станції з очисними спорудами дощових вод	4	139,2	0,56	81,88	356	425	20,86	5,16	
9. Склад матеріалів та бляднання окремо розташований заглиблений	4	148,8	0,6	465,6	287	105	49,72	0,53	
10. Майданчик для обладнання	4	348	1,39	85,9	377	275	21,35	7,2	
11. Жироловня	15	10,4	0,16	45,76	250	242	15,6	8,8	



## 7. Вибір системи напруг

Вибір напруги розподільчої мережі тісно пов'язаний з вирішенням питань електропостачання підприємства. Заключне рішення приймається в результаті техніко-економічного порівняння варіантів враховуючи різноманітні поєднання напруг окремих ланок системи, оскільки останніми знаходяться параметри ліній електропередачі та обраного електрообладнання підстанцій та мереж, а відповідно, розміри капітальних вкладень кольорових металів, втрат електроенергії та експлуатаційні витрати.

Напруга 35 кВ застосовується для живлення підприємств середньої потужності та для розподілу електроенергії на першій ступені електропостачання таких підприємств при потужності глибоких вводів.

Перевага напруги 20 кВ порівняно з напругою 35 кВ заключається в більш простішому устроїстві мережі та більш дешевих комутаційно-захисних апаратів. Однак не дивлячись на переваги, застосування напруги 20 кВ стримується відсутністю електрообладнання на цю напругу.

Напруга 10 кВ та 6 кВ широко використовується на промислових підприємствах:

на середніх по потужності підприємствах - для живлячих та розподільчих мереж;

на великих підприємствах - на другій та наступних ступенях розподілення електроенергії.

Напруга 10 кВ є більш економічним порівняно з напругою 6 кВ.

Для визначення напруги лінії електропередачі використовують формулу Стелла, кВ,

					<i>ДП 2021 141</i>		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Петренко В. Р.			Лім.	Лист	Листів
Перевір.		Шестеренко В.С				23	
Реценз.					<i>ЗЕЛ 5-8ск.ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого</i>		
Н. Контр.							
Затверд.		Балюта С.М					

$$U = 4,34 \cdot \sqrt{l + 0,016 \cdot P}$$

де  $l$  - довжина лінії, км,  $P$  - потужність одного кола передачі, кВт.

$$U = 4,34 \cdot \sqrt{6 + 0,016 \cdot 1,78} = 10,7$$

Завод, що проектується, є середнім по потужності, поряд з ним розташована підстанція 35 / 10 кВ, в такому випадку доцільно для електропостачання використовувати напругу 10 кВ з перетворенням її за допомогою цехових підстанцій в напругу 10 / 0,4 кВ для електропостачання споживачів заводу.

					ДП 2021 141	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		24

## 8. Вибір схеми електропостачання

Розподільчу мережу живлення підприємства виконуємо за радіальною схемою, оскільки навантаження підприємства розташовані в різних напрямках від джерела живлення.

Радіальними схемами є такі схеми, в яких електроенергія від джерела живлення передається безпосередньо до місця споживання. Найчастіше застосовуються радіальні схеми з числом ступенів не більше двох.

Для даного підприємства застосовується одноступінчаста радіальна схема, оскільки підприємство є середнім по потужності з зосередженими споживачами. Радіальні схеми забезпечують глибоке секціонування всієї системи електропостачання, починаючи від джерел живлення та закінчуючи збірними шинами напругою до 1 кВ цехових підстанцій. Радіальне живлення цехових двотрансформаторних підстанцій виконується від різних секцій РП окремими лініями для кожного трансформатора.

Схеми трансформаторних підстанцій 10 / 0,4 кВ спроектовані без збірних шин первинної напруги з глухим приєднанням трансформатора.

Схема ТП - 10 / 0,4 кВ наведено на рис.8.1.

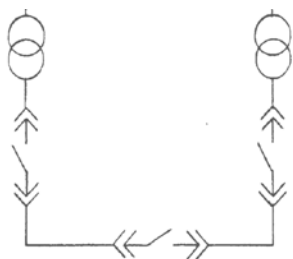


Рис.8.1. Схема трансформаторної підстанції ТП - 10 / 0,4 кВ при радіальному живленні

					<i>ДП 2021 141</i>				
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Петренко В. Р.			Лім.	Лист	Листів		
Перевір.		Шестеренко В.С				25			
Реценз.					ЗЕЛ 5-8ск.ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого				
Н. Контр.				Вибір схеми електропостачання					
Затверд.		Балюта С.М							

## 9.Проектування цехової мережі

### 9.1. Визначення розрахункової потужності та струмів електроспоживачів

Для наступних розрахунків нам потрібні розрахункові та пікові значення струмів електроприймачів цеху.

Для окремого електроприймача приймаємо:

$$P_p = P_{ном}$$

Повна потужність:

$$S_p = \frac{P_{ном}}{\cos \varphi_{ном}}$$

Реактивна потужність:

$$Q_p = \sqrt{S_p^2 - P_p^2}$$

Робочий струм:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}$$

Пусковий струм електроприймачів розраховується з врахуванням кратності пускового струму:

де  $k_n = (5...7)$  - кратність пускового струму для АД.

Наприклад, для транспортера ланцюгового:

$$P_p = 3кВт; \quad S_p = \frac{3}{0,8} = 3,75кВ \cdot А; \quad Q_p = \sqrt{3,75^2 - 3^2} = 2,25кВар;$$

$$I_p = \frac{3,75}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 5,7А, \quad I_{пик} = 5 \cdot 5,7 = 28,5А.$$

					ДП 2021 141			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Петренко В. Р.			Проектування цехової мережі	Літ.	Лист	Листів
Перевір.		Шестеренко В.С					26	
Реценз.						ЗЕЛ 5-8ск.ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М						

Аналогічно проводимо розрахунки для всіх електроприймачів цеху і результати розрахунків зводимо в табл. 9.1.

Таблиця 9.1

№	Назва електроприймача	$P_p$ , кВт	$S_p$ , кВ·А	$Q_p$ , кВар	$\cos \varphi_{ном}$	$I_p$ , А	$I_{нік}$ , А
1.	Масловиробник РЗ-ОБ	6,3	7,78	4,56	0,8	11,82	59,1
2.	Насос НРМ-5	1,5	1,88	1,13	0,8	2,86	14,3
3.	Танк універсальний	0,75	1,0	0,66	0,75	1,52	7,6
4.	Насос центробіжний	1,5	1,88	1,13	0,8	2,86	14,3
5.	Даховий вентилятор	5,4	7,71	5,5	0,7	11,71	58,6
6.	Даховий вентилятор	2,2	3,14	2,24	0,7	4,77	23,9
7	Даховий	7,0	10,0	7,14	0,7	15,19	75,65
.	вентилятор						
.	охолоджувальна	1,5	1,88	1,13	0,8	2,86	14,35
.	установка						
.	охолоджувальна установка	4,0	5,0	3,0	0,8	7,6	38,0
10.	Сепаратор	5,5	6,88	4,13	0,8	10,45	52,3
11.	Таль електрична	0,96	1,37	0,98	0,7	2,08	10,4
12.	Гомогенізатор К5-ОГА 1.2	11,0	15,71	11,2	0,7	23,85	119,2
13	Гомогенізатор А1-ОГМ	37,0	52,86	37,81	0,7	80,37	401,8
14.	Насос центробіжний	5,5	6,8	4,133	0,8	10,45	52,25
15.	Насос ротоційний	1,1	1,375	0,83	0,8	2,09	10,45
16.	Сепаратор	15,0	18,75	11,33	0,8	28,6	143,0
17.	Вентиляційна система	0,37	0,53	0,38	0,7	0,8	4,0
18.	~						
	молока	0,6	1,0	0,8	0,6	1,52	7,6
19.	Повітроохолоджувач	0,6	0,86	0,62	0,7	1,31	6,55
20.	Повітроохолоджувач	1,5	2,14	1,53	0,7	3,25	16,25
21.	Транспортер	2,2	3,14	2,24	0,7	4,77	23,85
	Полуавтомат для						
	сметани	0,6	0,75	0,45	0,8	1,14	5,7
23.	Транспортер ланцюговий	3,0	3,75	2,25	0,8	5,7	28,5
24.	Автомат для фасовки творога	2,2	2,75	1,65	0,8	4,18	20,9
25.	Автомат для фасовки творога	3,0	3,75	2,25	0,8	5,7	28,5
26.	Ванна сироробна	1,6	2,67	2,14	0,6	4,06	20,3
27.	Даховий вентилятор	0,75	1,07	0,76	0,7	1,62	8,13
28.	Вентиляційна система	0,37	0,53	0,38	0,7	0,8	4,0
29.	Вентилятор	1,1	1,57	1,12	0,7	2,38	11,9
30.	Заквасочна установка	0,55	0,69	0,42	0,8	1,05	5,25
31.	Заквасочна установка	2,0	2,5	1,5	0,8	3,79	18,95
32.	Барaban сушильний	13,2	16,5	9,9	0,8	25,1	125,5
33.	Машина пральна+	22,8	28,5	17,1	0,8	43,3	216,5

34.	Даховий вентилятор	0,25	0,31	0,18	0,8	0,47	2,35
35.	Насос крижаної води	7,5	9,38	5,6	0,8	14,25	71,25
36.	Насос	10,0	12,5	7,5	0,8	18,9	94,96

Таблиця 9.2

	Назва електроприймача	$P_p$ , кВт	$\cos\varphi N$	$I_p$ , А	$I_{п\dot{и}к}$ , А	$I_{на\dot{м}розц}$ , А	Кількість Електро приймачів
	Масловиробник РЗ-ОБ	6,3	0,8	11,82	59,1	23,64	1
2.	Насос НРМ-5	1,5	0,8	2,86	14,3	5,72	4
3.	Танк універсальний	0,75	0,75	1,52	7,6	3,04	6
4.	Насос центробіжний	1,5	0,8	2,86	14,3	5,72	1
5.	Даховий вентилятор	5,4	0,7	11,71	58,6	23,44	2
6.	Даховий вентилятор	2,2	0,7	4,77	23,9	9,56	3
7.	Даховий вентилятор	7,0	0,7	15,19	75,65	30,36	1
8.	Пастеризаційно-охолоджувальна	1,5	0,8	2,86	14,35	5,74	2
9.	Пастеризаційно-охолоджувальна	4,0	0,8	7,6	38,0	15,2	1
10.	Сепаратор	5,5	0,8	10,45	52,3	20,92	1
11.	Таль електрична	0,96	0,7	2,08	10,4	4,16	2
12.	Гомогенізатор К5-ОГА 1.2	11,0	0,7	23,85	119,2	47,7	1
13.	Гомогенізатор А1-ОГМ	37,0	0,7	80,37	401,8	160,7	1
14.	Насос центробіжний	5,5	0,8	10,45	52,25	20,9	4
15.	Насос ротоційний	1,1	0,8	2,09	10,45	4,18	10
16.	Сепаратор	15,0	0,8	28,6	143,0	57,2	1
17.	Вентиляційна система	0,37	0,7	0,8	4,0'	1,6	4
18.	Резервуар для зберігання молока	0,6	0,6	1,52	7,6	3,04	3
19.	Повітроохолоджувач	0,6	0,7	1,31	6,55	2,62	4
20.	Повітроохолоджувач	1,5	0,7	3,25	16,25	6,5	8
21.	Транспортер	2,2	0,7	4,77	23,85	9,54	3
22.	Полуавтомат для фасовки сметани	0,6	0,8	1,14	5,7	2,28	2
23.	Транспортер ланцюговий	3,0	0,8	5,7	28,5	11,4	3
24.	Автомат для фасовки	2,2	0,8	4,18	20,9	8,36	1
25.	Автомат для фасовки	3,0	0,8	5,7	28,5	11,4	1
26.	Ванна сироробна	1,6	0,6	4,06	20,3	8,3	1
27.	Даховий вентилятор	0,75	0,7	1,62	8,13	3,25	1
28.	Вентиляційна система	0,37	0,7	0,8	4,0	1,6	1
29.	Вентилятор	1,1	0,7	2,38	11,9	4,76	1



Наприклад, для насосу НРМ-5:

Переріз  $I_{np}=5,72A$  за табл.14.15.[4]  $I_{дон}=15A$ , а отже вибираємо АПВ 4 (1x2).

Вибір проводимо в табличній формі (табл. 9.3.)

Таблиця 9.3.

№	Назва електроприймача	$I_{номрозц}$	$I_{дон}$	Марка провода
1.	Масловиробник РЗ-ОБ	23,64	27	АПВ
2.	Насос НРМ-5	5,72	15	АПВ
3.	Танк універсальний	3,04	15	АПВ
4.	Насос центробіжний	5,72	15	АПВ
5.	Даховий вентилятор	23,44	27	АПВ
6.	Даховий вентилятор	9,56	15	АПВ
7.	Даховий вентилятор	30,36	30	АПВ
8.	Пастеризаційно- охолоджувальна	5,74	15	АПВ
9.	Пастеризаційно-охолоджувальна установка	15,2	15	АПВ 4(1x2)
10	Сепаратор	20,92	21	АПВ
11	Таль електрична	4,16	15	АПВ
12	Гомогенізатор К5-ОГА 1.2	47,7	55	АПВ
13	Гомогенізатор А1-ОГМ	160,7	175	АПВ
14	Насос центробіжний	20,9	21	АПВ
15	Насос ротоційний	4,18	15	АПВ
16	Сепаратор	57,2	70	АПВ
17	Вентиляційна система	1,6	15	АПВ
18	Резервуар для зберігання молока	3,04	15	АПВ 4(1x25)
19	Повітроохолоджувач	2,62	15	АПВ
20	Повітроохолоджувач	6,5	15	АПВ
21	Транспортер	9,54	15	АПВ
22	Полуавтомат для фасовки сметани	2,28	15	АПВ
23	Транспортер ланцюговий	11,4	15	АПВ
24	Автомат для фасовки творога	8,36	15	АПВ
25	Автомат для фасовки творога	11,4	15	АПВ



Вибір АВ проводимо в табличній формі (табл.9.5) Вимикачі вибираємо по табл. 14.4 [4].

Наприклад, для РП-13:

$$I_{ном}^{max} = \frac{12,6}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,5 \cdot 0,8} = 47,85 A;$$

$$i_{пуск}^{max} = 5 \cdot 47,85 = 239 A;$$

$$I_{пик}^{сп} = 239 + (50 - 0,2 \cdot 47,85) = 279,4 A;$$

$$I_{спрац} = 1,25 \cdot 279,4 = 349,3 A.$$

Вибрані таким чином вимикачі, їх тип і характеристику, наносимо на однолінійну схему електропостачання молокозаводу (аркуш 2).

Для захисту кабельної лінії, що живить РП, застосовуємо автоматичний вимикач типу А3700.

Умови вибору вимикача і розчеплювача:

$$U_{номАВ} \geq U_{номмер};$$

$$I_{номАВ} \geq I_p;$$

$$I_{номрозц} \geq I_p.$$

Вибраний АВ необхідно перевірити за умовою спрацювання:

$$I_{спрац} \geq 1,25 \cdot I_{пик}^{сп},$$

$$\text{де } I_{пик}^{сп} = i_{пуск}^{max} + (I_p - K_v \cdot I_{ном}^{max});$$

$$i_{пуск}^{max} = 5 \cdot I_{ном}^{max};$$

$$I_{ном}^{max} = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi_{ном} \cdot \eta_{ном}}.$$

При цьому повинна виконуватись та умова, що АВ не повинен спрацювати при проходженні пікових струмів.

					ДП 2021 141	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		32

Вибір АВ проводимо в табличній формі (табл.9.5) Вимикачі вибираємо по табл. 14.4 [4].

Наприклад, для РП-13:

$$I_{ном}^{max} = \frac{12,6}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,5 \cdot 0,8} = 47,85 A;$$

$$i_{пуск}^{max} = 5 \cdot 47,85 = 239 A;$$

$$I_{пик}^{ep} = 239 + (50 - 0,2 \cdot 47,85) = 279,4 A;$$

$$I_{спрац} = 1,25 \cdot 279,4 = 349,3 A.$$

Вибрані таким чином вимикачі, їх тип і характеристику, наносимо на однолінійну схему електропостачання молокозаводу (аркуш 2).

### 9.5. Вибір силового кабелю живлення цеху

Переріз проводів і кабелів напругою до 1 кВ за умовою нагрівання визначається в залежності від розрахункового значення тривало допустимого навантаження при нормальних умовах прокладки із двох співвідношень:

$$I_{np} \geq \frac{I_p}{K_n}; \quad I_{np} \geq \frac{K_3 \cdot I_3}{K_n},$$

де  $K_3$  - коефіцієнт прокладки;

$K_3$  - коефіцієнт, визначаючий співвідношення між струмом проводу (кабелю) та струмом апарату захисту;

$I_3$  - струм апарату захисту (в даному випадку струм розчеплювача АВ).

З двох отриманих значень приймаємо більше  $I_{np} = 1000 A$  і по ньому вибираємо переріз кабелю.

Для прокладки приймаємо кабель АВВГ.

За такими ж співвідношеннями вибираємо кабелі для інших ліній і зводимо їх в табл.9.5.

Таблиця 9.5

Назва лінії	Тип АВ	Марка кабелю	Кількість кабелів та переріз жил
ККУ-1	ВА52 -39	АВВГ	2 (3×120)+1×35
МРП-1	А3794	АВВГ	4 (3×150)+1×35
Блок водопровідної насосної станції	А3726	АВВГ	2 (3×120)+1×35
АБК	А3726	АВВГ	2 (3×95)+1×35
Маслоцех	ВА52 -39	ААВГ	3×150+1×50

РП-5	А3726	АВВГ	3×120+1×35
РП-10	ВА52 -39	АВВГ	3×150+1×50
Сушка	А3726	АВВГ	2 (3×150)+1×50
МРП-2	А3794	АВВГ	2 (3×120)+1×35
РП-7	А3726	АВВГ	2 (3×150)+1×50
Водопровідна станція	А3726	АВВГ	2 (3×120)+1×35
РП-15	А3726	АВВГ	2 (3×70)+1×25
ККУ-2	ВА52 -39	АВВГ	4 (3×120)+1×35
РП-6	А3726	АВВГ	2 (3×95)+1×35
РП-10	ВА52 -39	АВВГ	3×120+1×35
РП-8	А3726	АВВГ	3×120+1×35

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ДП 2021 141

Лист

34

РП-11	A3726	АВВГ	3×50+1×25
РП-12	A3726	АВВГ	3×50+1×25
МЦО	A3716	АВВГ	3×35+1×16
РП-13	A3716	АВВГ	3×25+1×16
РП-4	A3716	АВВГ	3×25+1×16
Приміщення охорони	АЕ2046	АВВГ	3×6+1×4
Зовнішнє освітлення	АЕ2046	АВВГ	3×50+1×25
НР-2	АЕ2046	АВВГ	2×2,5
РП-1	A3716	АВВГ	3×50+1×25
РП-2	A3716	АВВГ	3×70+1×25
АБК	A3716	АВВГ	3×95+1×35
ЩОА-1	АЕ2046	АВВГ	3×6+1×4
Приміщення охорони	АЕ2046	АВВГ	3×6+1×4

### 9.6. Розрахунок втрат напруги в лінії живлення

Живлячий кабель перевіримо по допустимій втраті напруги:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot \alpha \cdot (\cos \varphi \cdot r_0 + \sin \varphi \cdot x_0),$$

де  $I_p$  - розрахунковий струм лінії, А;

$\alpha$  - довжина лінії, км;

$x_0'$  - питомий реактивний опір лінії, Ом/км;

$r_0'$  - питомий активний опір лінії, Ом/км.

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q_p}{P_p} = \frac{59}{100} = 0,59; \quad \cos \varphi = 0,86; \quad \sin \varphi = 0,51.$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 0,3 \cdot 200 \cdot (0,86 \cdot 0,261 + 0,51 \cdot 0,0602) = 36,4 \text{ В},$$

що складає 4,2% від  $U=380\text{В}$ , що допустимо.

					<i>ДП 2021 141</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<b>36</b>

## 10. Вибір силових трансформаторів

Навантаження трансформаторів змінюється, як протягом доби, так і протягом року, в результаті цього трансформатори, як правило, працюють в умовах, відмінних від номінальних. Крім того, температура зовнішнього середовища також може дуже коливатись: Виходячи з вище сказаного, якщо при виборі трансформаторів керуватися лише номінальною потужністю, то остання може виявитися недовикористаною. Трансформатори можуть, без шкоди для себе, працювати протягом частини доби з навантаженням більшим від номінальної потужності, якщо решту часу доби їх навантаження буде меншим за номінальне. Критерієм можливості того чи іншого режиму для повного періоду є не номінальна потужність, а зношення ізоляції (старіння) обмоток трансформатора за цей період часу: при навантаженні трансформатора вище номінального ізоляція спрацьовується інтенсивніше, а при нижчому від номінального - повільніше, ніж при номінальному. У цілому за весь робочий період зношення ізоляції не повинно перевищувати фактичного часу роботи трансформатора. Такий метод вибору та використання трансформаторів є економічно вигіднішим.

Отже, трансформатор повинен вибиратися з врахуванням його здатності до перевантажень - сукупність допустимих для трансформатора навантажень більших і менших від номінальної потужності в умовах, відмінних від номінальних.

					<b>ДП 2021 141</b>			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Петренко В. Р.			<b>Вибір силових трансформаторів</b>	Лім.	Лист	Листів
Перевір.		Шестеренко В.С					37	
Реценз.						<i>ЗЕЛ 5-8ск.ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого</i>		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М						

## 10.1. Вибір трансформаторів з врахуванням їх допустимих перевантажень

Розрізняють два види допустимих перевантажень: систематичні та аварійні.

Допустимі систематичні перевантаження трансформатора - такий режим його роботи, за якого спрацювання ізоляції обмоток при фактичній температурі зовнішнього середовища і при реальному добовому графіку його навантаження буде таке саме, як і при номінальних умовах його роботи за такий же період.

Методика вибору трансформатора з допустимим систематичним перевантаженням виходить з того, що температура ізоляції у найбільш нагрітій точці обмотки в період максимуму навантаження перевищує 98°C для ізоляції класу А, але не повинна бути вищою від 140°C; температура олії в верхньому шарі не повинна перевищувати 95°C.

Для розрахунку допустимого систематичного перевантаження слід мати фактичний графік навантаження трансформатора (рис.2), який потрібно перебудувати в еквівалентний за спрацювання ізоляції двоступеневий.

Коефіцієнт початкового навантаження першого ступеня еквівалентного графіка навантаження трансформатора.

$$K_1 = \frac{1}{\sum_{i=1}^p S_{ном}} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n S_i^2 \cdot \Delta \tau_i}{\sum_{i=1}^n \Delta \tau_i}}$$

де  $p$  - кількість трансформаторів, що працюють у заданому режимі на підстанції;

$n$  - кількість ступенів потужності фактичного графіка навантаження трансформатора, за яких його навантаження менше або дорівнює номінальному;

$S_i$  - потужність  $i$ -го ступеня;

$\Delta\tau_i$  - час роботи трансформатора потужністю  $S_i$

$$K_1 = \frac{1}{100} \times \sqrt{\frac{86^2 \cdot 6 + 64^2 \cdot 2 + 210^2 \cdot 2 + 410^2 + 470^2 + 540^2 + 550^2 + 600^2 + 560^2 + 460^2 \cdot 2 + 350^2 + 240^2 + 90^2}{21}} = 0,4$$

Коефіцієнт перевантаження  $K_2$  другого ступеня еквівалентного графіка навантаження трансформатора визначається за більшим значенням із двох величин  $K'_2$  та  $K''_2$ . Величина  $K'_2$  обчислюється за формулою, аналогічною обчисленню  $K'_1$ :

$$K_2^1 = \frac{1}{\sum_{i=1}^P S_{ном}} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n S_i^2 \cdot \Delta\tau_i}{\sum_{i=1}^n \Delta\tau_i}}$$

де  $S_{max}$  - число ступенів потужності графіка навантаження трансформатора, за яких його навантаження більше від номінальної потужності.

$$K_2^1 = \frac{1}{1000} \cdot \sqrt{\frac{1070^2 + 1090^2 + 1168^2}{3}};$$

$$K_2^{11} = 0,9 \cdot K_{max} = 0,9 \cdot \frac{S_{max}}{\sum_{i=1}^P S_{ном}},$$

де  $S_{max}$  - максимальне навантаження трансформаторів за певний період роботи.

Еквівалентні навантаження першого та другого ступенів еквівалентного графіка навантаження:

$$S_{екв.1} = K_1 \cdot S_{ном};$$

$$S_{екв.1} = 0,4 \cdot 1000 = 400кВ \cdot А,$$

$$S_{екв.2} = K_2 \cdot S_{ном};$$

$$S_{екв.2} = 1,1 \cdot 1000 = 1100кВ \cdot А.$$

Можливість роботи даного трансформатора за реальним графіком навантаження з допустимим систематичним перевантаженням оцінюється за допомогою таблиць, побудованих на основі відповідних розрахунків.

За коефіцієнтом початкового навантаження  $K_1$  за допомогою таблиць визначається допустиме систематичне перевантаження  $K_{2доп}$ . Робота трансформатора допускається із систематичним перевантаженням при виконанні умови:  $K_{2доп} \geq K_2$ , Умова виконується  $1.3 > 1.1$ .

Аварійне перевантаження - такі режими роботи трансформатора, коли температура олії у верхньому шарі може перевищувати  $95^{\circ}C$ , але не більше  $115^{\circ}C$  та температура обмотки не більше  $160^{\circ}C$ . Цей режим допускається протягом  $K_1$  обмеженого часу, тому що спрацювання ізоляції значно перевищує номінальне.

Можливість аварійного перевантаження визначається також з допомогою таблиць залежно від наступних даних:  $K_1 = 0,4$ ;  $t = 0$ ;

система охолодження трансформатора - М;

час дії перевантаження - 10 год.

За цих умов  $K_{2доп.сум} = 1,5$ .

					ДП 2021 141	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		40

Отже ,умова виконується:  $1,5 \geq 1,1$ .

Оскільки виконуються умови систематичних і аварійних перевантажень, то два трансформатори ТМЗ - 1000 / 10 (один-резервний) можна прийняти для установки на ТП.

Розглянемо другий варіант установки трансформаторів 4×630 кВ·А (два трансформатори - резервні).

Очевидно, що при даному навантаженні заводу, такі трансформатори будуть працювати в режимі, меншому від номінального, тому розрахунки для перевірки умов роботи при систематичних та аварійних перевантаженнях зайві.

Порівняємо два варіанти установки трансформаторів за умови економічної доцільності:

I варіант - 2×1000/10 кВ·А один резервний);

II варіант - 4×630 кВ·А два - резервні).

Розглянемо I варіант: у разі наявності добового графіка навантаження трансформатора при роботі його цілий рік втрати електроенергії визначаються:

$$W = P_X \cdot 8760 + \frac{P_K}{S_{ном}^2} \left( \sum_{i=1}^m s_i \cdot \tau_i \right) \cdot 365,$$

де  $m$  - число ступенів сталих значень потужності за добовим графіком навантаження.

$$W = 2,2 \cdot 8760 + \frac{12}{1} \cdot 6095092 = 1238212,5 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Для II-го варіанту: (два паралельно працюючі трансформатори) втрати енергії визначаються:

$$W = n \cdot (P_X + P_K \cdot K_{нав}) \cdot 8760,$$

$$W = 2 \cdot (1,31 + 8,6 \cdot 0,75) \cdot 8760 = 134641,2 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

					ДП 2021 141	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		41

Отже, за першим варіантом вартість трансформатора 12,675 тис. грн., річні втрати електроенергії *1238212,5 кВт·год*, а сумарна вартість трансформаторів підстанції за другим варіантом 11,423 тис.грн., та сумарні втрати електроенергії при роботі за рік *134641,2 кВт·год*.

Результати розрахунків по варіантах дано в табл. 10.1.

Таблиця 10.1.

Найменування показника	Річні втрати електроенергії, (кВт. год.)	Вартість, (тис.грн.)
Варіант 1: Установка трансформаторів типу ТМЗ-1000/10кВ	123821,6	12,675
Варіант 2: Установка трансформаторів типу ТМЗ-630/10кВ	134641,2	11,423

Аналізуючи дані таблиці 10.1 робимо висновок, що варіант з двома паралельно працюючими трансформаторами (варіант 2) потребує більших капітальних затрат і характеризується значними річними втратами електроенергії, що робить його економічно не вигідним.

Тому для установки на ТП приймаємо два трансформатори ТМЗ - 1000 /10 кВ (один - резервний).

## 10.2. Вибір числа і потужності трансформаторів на ТП

Визначаємо мінімальну кількість трансформаторів на ТП, які забезпечують нормальну роботу споживачів:

$$N_T = \frac{P_p}{S_T \cdot \beta} + \Delta N,$$

де  $\beta = 0,9$  – плановий коефіцієнт завантаження трансформаторів:

$S_T$  - вибрана потужність трансформатора (1000 кВ · А);

$\Delta N$  - величина, що дорівнює доповненню  $N_{T \min}$  до цілого числа,

$$N_T = \frac{1787,9}{1000 \cdot 0,9} + 0,013 = 2 \text{шт.}$$

Визначаємо економічно обґрунтовану кількість трансформаторів:

$$N_{Te} = N_{T \min} + m,$$

де  $m$  - додатково встановлені трансформатори,

$$m = f(\Delta N; 3 \cdot n / cm).$$

де  $3 \cdot n / cm$  - приведена вартість підстанції при відсутності достовірних вартісних показників, для розрахунку приймають, що:

$$3 \cdot n / cm = 0,5,$$

тоді  $N_{Te}$  визначається виходячи з

$$m = f(\Delta N; N_{T \min}).$$

Значення  $m$  знаходиться по кривим з рис. 4.7.[4]  $m = 0$ , звідки

$$N_{Te} = 2 + 0 = 2 \text{шт.}$$

Вибираємо два трансформатори типу ТМЗ - 1000 / 10 паспортні дані яких:

$$\Delta P_x = 2,0 \text{кВт};$$

$$\Delta P_k = 11,6 \text{кВт};$$

$$U_k = 6,5\%;$$

$$i_x = 1,4\%.$$

					ДП 2021 141	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		43

### 10.3. Вибір КТП

Вибираємо КТПА - 1000 / 10 / 0,4 - 89УЗ:

Технічні дані КТПА:

- потужність силового трансформатора:

$2 \times 1000 \text{ кВ}\cdot\text{А}$ ;

- номінальна напруга, кВ:

ВН - 10;

НН - 0,4;

- струм - змінний, трьохфазний;

- частота змінного струму: 50 Гц;

- струм і номінальна напруга допоміжних ланцюгів: постійний, 220 В;

- струм електродинамічної стійкості:

на боці ВН-51 кА;

на боці НН - 50 кА;

- струм термічної стійкості на протязі 1с:

на боці ВН-20кА;

на боці НН - 25 кА;

- номінальний струм збірних шин:

на боці ВН-400кА;

на боці НН-910кА;

- опір ізоляції ланцюгів:

РУ ВН – 1000 Ом;

РУ НН – 1 Ом;

- струм запобіжника УВН для напруги 10 кВ: 100 А;

- втрати в КТПА : 8,85 кВт.

До складу КТПА входять:

- пристрій вводу з боку вищої напруги;

					ДП 2021 141	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		44

- два силових трансформатори;
- розподільчий пристрій з боку низької напруги (РУ НН).

УВН являє собою шафу глухого вводу (типу ВВ - 1) або шафу з вимикачем навантаження і запобіжниками (типу ШВВ - 2). ШВВ - 2 - металева шафа з вимикачем навантаження ВМП - 10 / 1000.

Приєднання джерела живлення здійснюється з боку нерухомих контактів вимикача навантаження від двох високовольтних кабелів перерізом  $3 \times 240 \text{ мм}^2$  через індивідуальні шинні накладки, розташовані на кожній фазі цих кабелів.

В КТПА застосовується трьохфазні двообмоточні силові трансформатори з масляним охолодженням типу ТМЗ - 1000.

РУ НН складається із:

- шаф вводу низької напруги (ШВ);
- шаф релейної апаратури;
- шаф відходящих ліній (ШЛ);
- шафи аварійного вводу від генератора (ШВА);
- шафи секційного вимикача (ШС);
- шина проводів;
- панелі керування;
- шафи обміну.

					<i>ДП 2021 141</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<b>45</b>

## 11. Вибір струмоведучих елементів

### 11.1. Вибір шин 10 кВ

Максимальний робочий струм:

$$I_p = \frac{S_{тр.ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 54,98 A.$$

Вибираємо шини прямокутного перерізу  $60 \times 8 \text{ мм}^2$ , алюмінієві,  $I_{дон} = 1025 A$ . Приймаємо горизонтальну прокладку шин з розміщенням великої грані полоси в вертикальній площині.

Сила, що діє на 1 м довжини шини, від взаємодії між струмами фаз:

$$f = 1,76 \cdot \frac{i_{уд}^2}{a} \cdot 10^{-7},$$

$$f = 1,76 \cdot \frac{15,7^2 \cdot 10^6}{0,35} \cdot 10^{-7} = 123,95 H / м.$$

Момент опору:

$$W = 0,333 \cdot B \cdot h^2;$$

$$W = 0,333 \cdot 0,008 \cdot 0,06^2 = 95 \cdot 10^{-7} H.$$

Максимальна розрахункова напруженість:

$$\sigma_{розр.} = \frac{f \cdot l^2}{10 \cdot W},$$

де  $l$  – відстань між ізоляторами, м,

$$\sigma_{розр.} = \frac{123,95 \cdot 1,5^2}{10 \cdot 95 \cdot 10^{-7}} = 2,9 \cdot 10^6 Pa,$$

а  $\sigma_{дон} = 70 \cdot 10^6 Pa$ . Отже, по механічній стійкості шини вибрані правильно.

					ДП 2021 141		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Петренко В. Р.			Літ.	Лист	Листів
Перевір.		Шестеренко В.С				46	
Реценз.					ЗЕЛ 5-8ск.ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого		
Н. Контр.							
Затверд.		Балюта С.М					

Перевірка шин за умовою термічної стійкості зводиться до визначення температури  $\theta_k$  шин в кінці режиму короткого замикання. Ця температура повинна бути менше або рівною допустимій.

Приймаємо початкову температуру  $\theta_n = 70^\circ\text{C}$ . За кривими [2] для фактичного часу КЗ  $t_\phi = 1,5\text{с}$  і для  $\theta_n = 70^\circ\text{C}$ ,  $A_n = 0,5 \cdot 10^4$ . Тоді  $A_k$  знаходимо за формулою:

звідки

$$\left(\frac{I_\infty}{S}\right)^2 \cdot t_\phi = A_k - A_n, \quad A_k = \left(\frac{I_\infty}{S}\right)^2 \cdot t_\phi + A_n,$$

$$A_k = \left(\frac{6150}{480}\right)^2 \cdot 1,5 + 0,5 \cdot 10^4 = 0,525 \cdot 10^4$$

Цьому значенню за таблицею відповідає температура  $\theta_n = 75^\circ\text{C}$ , що менше допустимої, отже шини за умовою термічної стійкості вибрані правильно.

## 11.2. Вибір перерізу кабельної лінії, живлячої силові трансформатори (ЮкВ)

Максимальний струм:

Приймаємо  $I_{\max} = \frac{S_{mp.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 57,74\text{А}$ . кабель марки ААШв -

10 - 3×95 мм<sup>2</sup> з  $I_{дон} = 170\text{А}$ , оскільки до

цього кабеля будуть підключатися міські підстанції.

$$I_{дон} = 170\text{А} > I_{\max} = 57,74\text{А}.$$

Перевіряємо вибраний кабель за умовою термічної стійкості до струмів КЗ:

$$B_k = I_{0,0}^2 (\tau_{кз} + T_a) = 4,68(0,2 + 0,06) = 27,6\text{кА}^2 \cdot \text{с};$$

де  $C=90$ ;

$$S_{\min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C},$$

Отже, вибраний кабель ААШв - 10 - 3×95 мм задовольняє умовам вибору.

## 12. Розрахунок струмів короткого замикання

*Коротке замикання (КЗ)* - замикання між фазами (фазними провідниками електроустановки), замикання фаз на землю (нульовий провід) в мережах з глухо - та ефективно - заземленими нейтраліями, а також виткові замикання в електричних машинах.

КЗ виникають при порушенні ізоляції електричних мереж. Причини таких порушень різні: старіння і, як наслідок цього, пробій ізоляції, накидання на проводи ліній електропередачі, обриви проводів із падінням на землю, механічні пошкодження ізоляції кабельних ліній при земляних роботах, удари блискавки в лінії електропередач тощо та ін.

Частіше всього КЗ відбувається через перехідний опір (наприклад, через опір електричної дуги), що виникає в місці пошкодження. Іноді виникають металічні КЗ без перехідного опору. Для спрощення аналізу в більшості випадків при розрахунках КЗ розглядається металічне КЗ без врахування перехідного опору.

У трифазних електроустановках виникають три - та двофазні КЗ. Крім того, в трифазних мережах з глухо - заземленими нейтраліями можуть виникати однофазні та двофазні КЗ на землю (замикання двох фаз між собою з одночасним з'єднанням їх із землею).

При трифазному КЗ всі фази електричної мережі знаходяться в однакових умовах, тому його називають *симетричним*. При інших видах КЗ фази знаходяться в різних умовах, в зв'язку з чим векторні діаграми струмів і напруг викривлені, такі КЗ називають *несиметричними*.

					ДП 2021 141			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Петренко В. Р.			Розрахунок струмів короткого замикання	Літ.	Лист	Листів
Перевір.		Шестеренко В.С					48	
Реценз.						ЗЕЛ 5-8ск.ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М						

При КЗ у ланцюгах підвищується струм і напруга. Підвищення струму КЗ призводить до збільшення втрат електроенергії в провідниках і контактах, що викликає їх підвищений нагрів. Падіння напруги приводить до порушення нормальної роботи ділянок СЕП, а іноді і до розладу її в цілому.

У процесі проектування визначаємо найбільші значення струму КЗ у всіх характерних точках СЕП.

Розрахунки струмів КЗ проводять для вибору або перевірки параметрів електрообладнання, а також для вибору або перевірки установок релейного захисту і автоматики.

У вищенаведених розрахунках будемо приймати наступні умови:

- потужність системи -  $S_C = 5000 \text{ кВ}\cdot\text{А}$ ;

- опір системи -  $r_c = 5 \text{ в. о.}$

Спрощена схема електропостачання заводу наведена на рис. 12.1.

Розрахунок струмів КЗ з врахуванням дійсних характеристик і дійсного режиму роботи всіх елементів енергосистеми, що складається із багатьох електричних станцій і підстанцій, дуже важкий. Разом із тим для вирішення багатьох задач, що зустрічаються на практиці, можна вводити припущення, які спрощують розрахунки і не вносять суттєві похибки. До таких припущень відносять наступні:

- приймається, що фази ЕРС всіх генераторів не змінюються (відсутність качання генераторів) на протязі всього процесу КЗ;
- не враховується насичення магнітних систем, що дозволяє вважати постійними і незалежними від струму індуктивні опори всіх елементів короткозамкненої мережі;
- нехтують намагнічуючими струмами силових трансформаторів;

- не враховують, крім особливих випадків, ємнісні провідності елементів короткозамкненої мережі на землю;
- вважають, що трифазна система є симетричною;
- вплив навантажень на струми КЗ враховують приблизно;
- при обчисленні струмів КЗ, як правило, нехтують активним опором мережі, якщо відношення  $x/r$  більше трьох.

Вказані припущення поряд з припущеннями розрахунків призводять до деякого перевищення реальних струмів КЗ (похибка практичних методів розрахунку не перевищує 10 %, що прийнято вважати допустимим).

При розрахунку струмів КЗ в установках до 1 кВ необхідно враховувати опір шин, трансформаторів струму, рубильників, автоматичних вимикачів, параметри яких повинні вказуватися в розрахунковій схемі. З метою спрощення

розрахунків для кожної електричного ступеню замість її дійсного значення на

шинах вказується середня напруга  $U_{cp}$  кВ, згідно наступної шкали:

770; 515; 340; 230; 154; 115; 37; 24; 20; 18; 15,75; 13,8; 10,5; 6,3; 3,15.

### 12.1. Визначення параметрів схеми заміщення

Опір системи, приведений до базових умов

$$\dot{x}_{c.б} = \dot{x}_c \cdot \frac{S_б}{S_c} = 5 \cdot \frac{5000}{5000} = 5,$$

де  $S_б$  – базова потужність, МВА.

Опір повітряної лінії електропередач, приведений до базових умов

$$\dot{x}_{nl} = I_{nl} x_0 \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{ch}^2} = 6 \cdot 0,4 \cdot \frac{5000}{10,5^2} = 108,8.$$

## 12.2. Розрахунок струмів КЗ:а) в точці К<sub>1</sub>

Схема заміщення із параметрами мережі, приведений до базових умов, для розрахунку струмів КЗ в точці К<sub>1</sub> наведена на рис. 12.2. Заключний опір для розрахунку КЗ в точці К<sub>1</sub>

$$\dot{x}_{закл.K_1} = \dot{x}_{c.\bar{\sigma}} + \frac{\dot{x}_l}{2} = 5 + \frac{108,8}{2} = 59,4.$$

Струм КЗ у відносних одиницях для моментів часу 0,0 с та 0,2 с

$$\dot{I}_{0,0K_1} = \dot{I}_{0,2K_1} = \frac{1}{\dot{x}_{закл.K_1}} = \frac{1}{59,4} = 0,017.$$

Базовий струм у місці короткого замикання

$$I_{\bar{\sigma}K_1}^{K3} = \frac{S_{\bar{\sigma}}}{\sqrt{3}U_{cp}^{K3}} = \frac{5000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 275 \text{ кА}.$$

Струми КЗ в іменованих одиницях в точці К<sub>1</sub>

$$I_{0,0K_1} = I_{0,2K_1} = \dot{I}_{0,0K_1} \cdot I_{\bar{\sigma}} = 0,017 \cdot 275 = 4,68 \text{ кА}.$$

Миттєве значення ударного струму в точці К<sub>1</sub>

$$i_{y\delta.K_1} = \sqrt{2} \cdot k_{y\delta} \cdot I_{0,0K_1} = \sqrt{2} \cdot 1,85 \cdot 4,68 = 12,2 \text{ кА}.$$

де  $k_{y\delta}$  - ударний коефіцієнт, для ПЛ  $k_{y\delta} = 1,85$ .

Тепловий імпульс в точці К<sub>1</sub>

$$B_k^{K_1} = B_a + B_n = I_{0,0K_1}^2 \cdot (\tau_k + T_a) = 4,68^2 \cdot (1,2 + 0,06) = 27,6 \text{ кА} \cdot \text{с}^2$$

## б) В ТОЧЦІ К<sub>2</sub>

Схема заміщення із параметрами мережі, приведений до базових умов, для розрахунку струмів КЗ в точці К<sub>2</sub> наведена на рис. 12.3. Заключний опір для розрахунку КЗ в точці К<sub>2</sub>

$$\dot{x}_{\text{закл.К}_2} = \dot{x}_{\text{с.б}} + \dot{x}_l = 5 + 108,8 = 113,8.$$

Струм КЗ у відносних одиницях для моментів часу 0,0 с та 0,2 с

$$\dot{I}_{0,0\text{К}_2} = \dot{I}_{0,2\text{К}_2} = \frac{1}{\dot{x}_{\text{заклК}_2}} = \frac{1}{113,8} = 0,0088.$$

Базовий струм у місці короткого замикання

$$I_{\text{бК}_2}^{\text{КЗ}} = \frac{S_{\text{б}}}{\sqrt{3}U_{\text{сп}}^{\text{КЗ}}} = \frac{5000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 275 \text{кА}.$$

Струми КЗ в іменованих одиницях в точці К<sub>2</sub>

$$I_{0,0\text{К}_2} = I_{0,2\text{К}_2} = \dot{I}_{0,0\text{К}_2} \cdot I_{\text{б}} = 0,0088 \cdot 275 = 2,42 \text{кА}.$$

Миттєве значення ударного струму в точці К<sub>2</sub>

$$i_{\text{уд.К}_2} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд}} \cdot I_{0,0\text{К}_2} = \sqrt{2} \cdot 1,85 \cdot 2,42 = 6,33 \text{кА}.$$

де  $k_{\text{уд}}$  - ударний коефіцієнт.

Тепловий імпульс в точці К<sub>2</sub>

$$B_{\text{к}}^{\text{К}_2} = B_a + B_n = I_{0,0\text{К}_2}^2 \cdot (\tau_{\text{к}} + T_a) = 2,42^2 \cdot (1,2 + 0,06) = 7,4 \text{кА} \cdot \text{с}^2$$

Рис. 12.2. Розрахункова схема заміщення для розрахунку струмів КЗ в точці К<sub>1</sub>

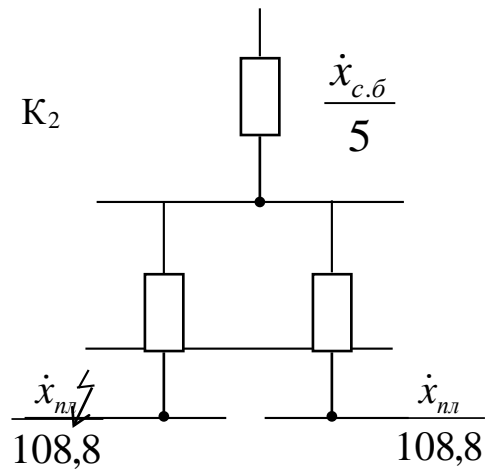


Рис. 12.3. Розрахункова схема заміщення для розрахунку струмів КЗ в точці  $K_2$

### 13. Вибір обладнання

#### 13.1. Вибір високовольтних вимикачів Умови вибору:

$$1. U_{ном.в} \geq U_{ном.мер.};$$

$$2. I_{ном} \geq I_{р.ф.};$$

$$3. I_{ном.відкл.} \geq I_{0,0};$$

$$4. \sqrt{2} \cdot I_{ном.відкл.} \cdot \left(1 + \frac{\beta_n}{100}\right) > \sqrt{2} \cdot I_{0,0} + i_0;$$

$$5. I_{\tau}^2 \cdot \tau > B_k.$$

Вибір проводимо в табличній формі.

Секційний вимикач – **VD – 4**

Паспортні	Розрахункові
12кВ	10кВ
1250А	36,4А
31,5кА	1,76кА
44,5кА	3,25кА
57,5 <sup>2</sup> ·1,2 =	27,6кА <sup>2</sup>

Вимикач **VD – 4** задовольняє умовам вибору .

Аналогічно проводимо вибір інших високовольтних вимикачів, результати приводимо в табл. 13.1.

					ДП 2021 141			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Петренко В. Р.			Вибір обладнання	Літ.	Лист	Листів
Перевір.		Шестеренко В.С					54	
Реценз.						ЗЕЛ 5-8ск.ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М						

Паспортні дані	Розрахункові дані
$U_{1\max} = 10\text{кВ}$ $I_{\text{ном}1} = 200\text{А}$ $I_{\text{дин.}} = 226\text{кА}$ $I\tau^2 \cdot \tau = 3969\text{кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{\text{ном max}} = 10\text{кВ}$ $I_{\text{max}} = 100\text{А}$ $i_{\text{уд}} = 6,33\text{кА}$ $B_{\text{к}} = 27,6\text{кА}^2 \cdot \text{с}$

Таблиця 13.1.4

### 13.2. Вибір вимірювальних трансформаторів струму

Вибираємо тип, співставляємо можливе та номінальне навантаження і перевіряємо ВТС на термічну стійкість.

Передбачаємо установку на відхідних лініях ВТС типу ТОЛ-10-0,5/Р-200/5 з двома вторинними обмотками: 0,5 - для підключення вимірювальних приладів; Р - для релейного захисту. Схема підключення струмових обмоток вимірювальних приладів до трансформатора струму наведена на рис. 13.1.

Номінальна потужність ВС повинна бути не меншою потужністю, яку споживають прилади і втраченої в провідниках та перехідних контактах. Трансформатори струму встановлюємо на фазах А і С. Сердечники для вимірювальних приладів повинні мати клас точності 1,0, а сердечники захисту -3,0.

Номінальна вторинна потужність сердечника класу 1,0 складає  $S_{2н} = 15В \cdot А$ , а

сердечника класу 3,0 -  $S_{2н} = 30 В \cdot А$ .

Потужність, що споживається послідовними котушками вимірювальних приладів, приведена в табл. 13.2

Таблиця 13.2

Назва приладу	Тип приладу	Фаза А	Фаза С
Амперметр електромагнітний	Э762	1,75	-
Лічильник активної енергії	Э772	1,25	1,25
Лічильник реактивної енергії	САЗУ	0,525	0,525
<b>Всього:</b>	-	<b>3,525</b>	<b>1,775</b>

Найбільш завантажена фаза А.

Визначимо потужність, яку можна розсіяти в з'єднувальних провідниках від трансформатора струму до джерела живлення:

$$S_{2н} = \sum S_{2прил} + I_{2н} (r_{кат} + r_{пров});$$

де  $S_{2н} = 15 \text{ В} \cdot \text{А}$ ;  $\sum S_{2прил} = 3,525 \text{ В} \cdot \text{А}$ ;  $I_{2н} = 5 \text{ А}$ ;  $r_{кат} = 0,1 \text{ Ом}$ ,

звідки 
$$r_{пров} = \frac{15 - (3,525 + 25 \cdot 0,1)}{25} = 0,36 \text{ Ом}$$

Приймаємо довжину провідника від трансформатора струму до джерела живлення 5 Ом. Тоді при з'єднанні трансформатора струму в неповну зірку переріз з'єднувальних провідників повинен бути не менше:

$$F = \frac{\sqrt{3} \cdot I}{\gamma_{пров}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 50}{53 \cdot 0,36} = 4,53 \text{ мм}^2$$

Приймаємо стандартний переріз 6 мм<sup>2</sup>.

Потужність, яку споживає котушка електромагнітного реле типу РТ складає 0,1 В · А. Тоді опір проводу буде наступним:

$$r_{пров.} = \frac{30 - (0,1 + 25 \cdot 0,1)}{25} = 1,3 \text{ Ом}.$$

В цьому випадку переріз проводу:

$$F = \frac{\sqrt{3} \cdot 50}{53 \cdot 1,3} = 1,255 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо стандартний переріз 1,5 мм<sup>2</sup>.

### 13.3. Вибір вимірювальних трансформаторів напруги

Трансформатор напруги вибирається по первинній напрузі і класу точності для даного вторинного навантаження - для живлення електровимірювальних приладів та контролю ізоляції, що виконується трифазним п'ятистержневим трансформатором напруги типу НТМИ. Для підключення лічильників електричної енергії необхідно мати трансформатор напруги класу точності 0,5.

Потужність, яку споживають котушки вимірювальних приладів, приведемо в табл. 13.3.

Таблиця 13.3

Назва приладу	Тип	Потужність, яку споживає	Кількість приладів	COS φ	Споживана потужність		
					Вт	Вар	В·А
аттметр	Э762	9	4	1	36	-	-
аттметр	Д772	10	1	1	10	-	-
Лічильник активної енергії	САЗУ	1,75	4	0,38	2,26	<b>6,5</b>	-
Лічильник реактивної енергії	СРЗУ	1,75	1	0,38	0,66	<b>1,62</b>	-
<b>Всього:</b>	—	-	10	"	<b>48,92</b>	<b>8,12</b>	<b>49,59</b>

Вибираємо трансформатор напруги типу НТМИ - 10 - 66 з додатковою вторинною обмоткою для контролю ізоляції.

## 14. Релейний захист і автоматика.

Релейний захист є дуже важливою частиною автоматики, що використовується на електростанціях і в електростанціях і в електричних мережах енергосистеми. Основна задача релейного захисту полягає у виявленні пошкодженої ділянки і найбільш швидкій видачі сигналу на її відключення.

Найбільш частими видами електрообладнання підстанцій, ліній електропередачі є КЗ, при яких ушкоджена ділянка вимикається вимикачем. Додатковим призначенням релейного захисту є виявлення аномальних режимів роботи, які не потребують відключення відразу. Але таких, що потребують заходів для їх ліквідації (перевантаження, обрив оперативних кіл та ін.). У цьому випадку захист діє на сигнал.

До пристроїв релейного захисту, що діють на відключення, пред'являють наступні вимоги:

- *селективність або вибірковість дії*, при якому забезпечується відключення лише пошкодженої ділянки електроустановки, а непошкоджена її частина залишається в роботі;<

- *швидкодія*. Чим швидше спрацює релейний захист, тим менше триває аварійна ситуація в електроустановці і менше розмір пошкоджень електрообладнання. Сучасний швидкодіючий захист має власний час спрацювання порядку 0,02 - 0,04 с;

- *чутливість*, тобто здатність захисту реагувати лише на ті пошкодження і аномальні режими, на які він розрахований;

- *надійність захисту*, полягає в його постійній готовності, правильнішій і безвідказній дії у всіх випадках, для яких він призначений.

					<b>ДП 2021 141</b>		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Петренко В. Р.			Літ.	Лист	Листів
Перевір.		Шестеренко В.С				59	
Реценз.					ЗЕЛ 5-8ск.ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого		
Н. Контр.							
Затверд.		Балюта С.М					
Релейний захист і автоматика							

Основними елементами підстанцій, що підлягають захисту, є силові трансформатори та збірні шини.

Релейний захист і автоматика на напрузі 10 кВ проектується в відповідності з типовими схемами вторинних з'єднань камер - 285, встановлених в РУ-10 і типовими схемами захистів, проєктованих на стороні джерела живлення.

Проєктом передбачається релейний захист таких елементів мережі:

- живлячих лінії та відкидних;
- від багатофазних замикань -максимальний струмовий захист і струмова відсічка, діюча на відключення вимикача лінії зі сторони живлення;
- від однофазних замикань на землю - максимальний струмів захист кульової послідовності, діючий на сигнал.

Також, передбачається автоматичне вмикання резерву зі сторони низької напруги підстанції для безперервної роботи споживачів.

При виборі типів релейного захисту враховувалось те, що пристрої РЗ мають забезпечувати автоматичне відключення елемента, що захищається, на випадок його пошкодження. Яке становить безпосередню безпеку для нього самого, або ж для всієї системи.

Як джерела змінного оперативного струму використовуються вимірювальні трансформатори струму, напруги та власних потреб.

Трансформатори струму можуть бути джерелами живлення захистів тільки від коротких замикань, що супроводжуються значними струмами пошкодження та непридатні для живлення оперативних кіл у робочих режимах, а також, однофазних замикань на землю.

Трансформатори напруги та власних потреб, навпаки, непридатні для живлення захистів при коротких замиканнях і можуть застосовуватися для керування в нормальних режимах, а також для захисту від пошкоджень, що не супроводжуються значними зниженнями напруги (перевантаження,

					<i>ДП 2021 141</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		60

виткові замикання трансформатора, зниження рівня олії). Вибір трансформаторів струму ТПЛ - 10 300/5 та ТПЛ - 10 100/5

При розрахунку уставки струму спрацювання максимального струмового захисту трансформаторів, що діє на відключення, необхідно врахувати паралельно працюючий трансформатор, для того, щоб при вимиканні одного з них, другий залишився в роботі.

Отримане значення  $I_{спр.з}$  необхідно перевірити на задоволення умови чутливості захисту:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к. min}}^{(2)}}{I_{\text{спр.з}}} \geq 1,5,$$

де  $I_{\text{к. min}}^{(2)}$  - струм короткого замикання, коли через захист проходить мінімальний струм.

При двох паралельно працюючих трансформаторах це буде струм, що тече через один трансформатор, при двохфазному короткому замиканні на стороні найнижчої напруги трансформатора.

Уставка струму реле максимального струмового захисту визначається за формулою:

$$I_{\text{спр.}} = \frac{I_{\text{спр.з}} \cdot K_{\text{СХ}}}{K_{\text{ТТ}}},$$

де  $K_{\text{СХ}}$  - коефіцієнт схеми з'єднання трансформаторів струму,  $K_{\text{СХ}} = 1$ ;

$K_{\text{ТТ}}$  - коефіцієнт трансформатора струму.

Уставку часу захисту слід брати на ступінь більшою за найбільшу витримку часу максимального захисту лінії, що відгалужується.

Оскільки трансформатор не має диференційного захисту, то доцільно встановити миттєво діючий струмовий захист - відсічку, який прискорить відключення трансформатора, при пошкодженні на стороні його вищої напруги.

					ДП 2021 141	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		61

Розрахунок релейного захисту приведено в табл.14

	Чутливість захисту	$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к. min}}^{\infty}}{I_{\text{с.з.}}} \geq 1,5$	$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к. min}}^{\infty}}{I_{\text{с.з.}}} \geq 1,5$	$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к. min}}^{\infty}}{I_{\text{с.з.}}} \geq 1,5$
Вибір часу захисту	Тип реле захисту			РТВ - III
	Час спрацювання захисту	$t_{\text{сп.}}$	0,5с	0,5с
Розрахунковий струм спрацювання струмової				$1,2 \cdot I_{\text{к.з. max}(0,4)}$
Дійсний струм спрацювання струмової відсічки				$1,2 \cdot 562 = 674,4$
Вторинний струм спрацювання струмової відсічки				$\frac{674,4}{5} = 33,72$
Тип реле				РТМ204

Найменування		Розрахункова формула	Відхідна лінія РП-10-ТП-980
Марка і переріз кабелю		-	-
Розрахунковий струм		$I_{\text{max}}$ (за допустимим навантаженням кабелю)	265
Схеми з'єднань трансформаторів струму		-	Λ
Коефіцієнт схеми		$K_{\text{сх.}}$	1
Розрахунковий коефіцієнт трансформаторів струму		$K_{\text{ТТрозр.}} = \frac{I_{\text{м}}}{5}$	$K_{\text{ТТрозр.}} = \frac{265}{5}$
Прийнятий коефіцієнт трансформаторів струму		$K_{\text{ТТ}}$	ТПЛ - 100/5
Розрахунковий первинний струм спрацювання захисту	За максимальним струмом	Коефіцієнт запасу	$K_3 = 4$
	за узгодженням з МСЗ тр-ра	Розрахунковий струм спрацювання	$I_{\text{спр.}} = K_3 \cdot I_{\text{max}}$
		Струм к. з. на шинах 0,4 кВ	-
		Розрахунковий струм спрацювання	$I_{\text{спр.}} > I_{\text{к.з.}(0,4)}$
Схема з'єднань реле максимального		-	Λ
Вторинний розрахунок		$i_{\text{спр.}} = \frac{I_{\text{спр. розр.}} \cdot K_{\text{сх}}}{K_{\text{ТТ}}}$	$i_{\text{спр.}} = \frac{1080 \cdot 1}{60} = 18$
Тип струмового реле		-	
Уставка струмового реле		$i_{\text{р.}}$	18

Дійсний первинний струм спрацювання захисту	$I_{с.з.} = \frac{i_p \cdot K_{TT}}{K_{CX}}$	$I_{с.з.} = \frac{18 \cdot 60}{1} = 1080$
Розрахунковий режим для визначення чутливості захисту	2-х фазне к. з. на шинах	

## 15. Вибір конденсаторних установок (КУ)

При виборі засобів компенсації реактивної потужності необхідно враховувати, що максимальний економічний ефект досягається при розміщенні їх в місцях споживання реактивної потужності.

Передача реактивної потужності із мережі 10 кВ в мережу 1 кВ виявляється, як правило, економічно не вигідною. Для установок відносно невеликої потужності, що приєднані до мереж 10 кВ економічно вигідна повна компенсація реактивної потужності на стороні до 1 кВ.

Нерегульовані компенсуючі пристрої в мережах до 1 кВ необхідно розміщувати в мережах близько до розподільчих пунктів, якщо оточуюче середовище допускає таку установку.

Місце установки регулюючих компенсуючих пристроїв в мережах до 1 кВ визначають з виконанням вимог регулювання напруги мережі або регулювання реактивної потужності.

Вибираємо КУ на стороні НН:

$$P_p = 1787,9 \text{кВ}, \quad Q_p = 1221,97 \text{кВар}.$$

За обраним числом трансформаторів визначаємо максимальну реактивну потужність, яку доцільно передати через трансформатори в мережу напругою 0,4 кВ.

$$Q_T = \sqrt{(N_{Te} \cdot \beta_T \cdot S_T)^2 - P_p^2} = \sqrt{(2 \cdot 0,9 \cdot 1000)^2 - 1787,9^2} = 336,5 \text{кВар},$$

де  $S_T$  - номінальна потужність трансформатора ТП;  $N_{Te}$  - економічно підтверджена кількість трансформаторів;  $\beta_T$  - коефіцієнт завантаження трансформаторів на ТП.

					<i>ДП 2021 141</i>		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Петренко В. Р.			Лім.	Лист	Листів
Перевір.		Шестеренко В.С				64	
Реценз.					Вибір конденсаторних установок (КУ) ЗЕЛ 5-8ск.ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого		
Н. Контр.							
Затверд.		Балюта С.М					

Сумарна потужність НБК для даної групи трансформаторів(потужність КУ, що визначається пропускнуою здатністю трансформаторів на ТП):

$$Q_{нк1} = Q_p - Q_m,$$
$$Q_{нк1} = 1221,7 - 336,5 = 885,2 \text{кВар} > 0.$$

Так як  $Q_{нк1} > 0$ , то за першим етапом розрахунку установка НБК потрібна й  $Q_{нк1}$  приймається 885кВар.

Визначимо додаткову потужність НБК за умови втрат енергії (забезпечує оптимальну величину втрат в електричних мережах). Для даної групи трансформаторів:

$$Q_{нк2} = Q_p - Q_{нк1} - \gamma N_{Te} S_T,$$

де  $\gamma$  - розрахунковий коефіцієнт для двоступеневої схеми системи живлення трансформаторів від РП 10 кВ, на яких відсутні джерела реактивної потужності (дозволяє знайти оптимальну величину втрат); для магістральної схеми з двома трансформаторами  $\gamma$  визначається за рис. 19.3 [4]  $\gamma = 0,34$ .

Тоді

$$Q_{нк2} = 1221,7 - 885,2 - 0,34 \cdot 2 \cdot 1000 = -680 \text{кВар} \leq 0.$$

$$Q_{ку} = Q_p - Q_{e1} = 1221,7 - 336,5 = 885,2 \text{кВар}$$

Отже, на стороні НН потрібно ставити дві КУ. Приймаємо для встановлення КУ типу УКМ - 58 - 0,4 - 450 - 67 УЗ. На стороні ВН ставити КУ не потрібно.

### 15.1. Автоматичне регулювання конденсаторних установок

Регулювання потужності КУ може проводитися вручну (експлуатаційним персоналом або диспетчером за допомогою дистанційних пристроїв) та автоматично з використанням різноманітних реле (регулювання по напрузі, струму, потужності).

Так як в приміщенні КТП постійного чергового персоналу немає і з врахуванням характеру технологічного процесу підприємства та вимог

енергосистеми, приймаємо автоматичне регулювання КУ по струму навантаження.

Таке регулювання доцільно здійснити з допомогою двох струмових реле, встановлених на вводі підстанції. Одне реле включає КУ при зростанні навантаження, друге - відключає при зниженні навантаження. Змінюючи вставки реле з врахуванням їхнього коефіцієнта повернення, можна забезпечити різні закони автоматичного регулювання потужності КУ.

Для відстрочки від короткочасних знижень та підвищень струму в схемах передбачається два реле часу типу РВП - 2, працюючи з витримкою часу 2-3 хв. У ролі пускового органу можуть бути використані струмові реле типів РТ - 80, РТ - 40, РЕВ, РТВ, коефіцієнти повернення яких знаходяться в діапазоні 0,7 - 0,85. Для більш точного регулювання слід застосовувати струмові реле з більш високим коефіцієнтом повернення.

При нерівномірності навантаження по різних фазах для правильної роботи схеми пускові струмові реле включення КУ потрібно під'єднати на одну із фаз трансформаторів струму.

Одноступеневе автоматичне регулювання потужності КУ по струму навантаження може бути виконано з застосуванням двох електромагнітних струмових реле. При навантаженні на вводі підстанції установки струму включення 5А КУ залишається відключеною.

При збільшенні навантаження до 5А спрацьовує реле включення Т1 разом з реле часу ІВ, яке з витримкою часу включає КУ. Реле Т2, яке має уставку струму 3А, повинно також спрацювати, однак відключення при цьому не відбувається, через те, що розмикаючий контакт цього реле розмикається, а замикаючий допоміжний контакт автоматичного вимикача в колі 2В замикається, чим готується коло до відключення КУ. При зниженні навантаження на вводі підстанції до 3А, спрацьовує реле Т2 і замиканням свого контакту в колі 2В, з витримкою часу 2-3 хв., дає імпульс на відключення КУ.

## 16. Розрахунок електричного освітлення цеху

Розрахунок освітлення маслоцеху проводимо за методом коефіцієнту використання, який використовується для розрахунку загального рівномірного освітлення і доцільно використовувати при відсутності таблиць питомої потужності для ПЛВМ [7].

Вихідні дані:

Приміщення - виробничого характеру загального призначення.

Площа цеху –  $S = a \times b = 30 \times 12 = 360 \text{ м}^2$

Висота цеху –  $H_p = 4,8 \text{ м}$

Стіни і стеля - свіжовибілені.

Клас зорових робіт  $V \rightarrow E_n = 200 \text{ лк}$ .

Для ПЛВМ - типова крива Д-2 по [8].

Початкові дані:

1. Згідно табл.. 8.4 [8] для зорових робіт  $V$  підрозряду "а" при загальному освітленні приймаємо нормоване значення освітленості  $E_n = 200 \text{ лк}$ .
2. Враховуючи наявність відносно прецизійних робіт механічного характеру, наявність вентиляції, вибираємо коефіцієнти відбивання стелі і стін  $\rho_{\text{стелі}} = \rho_{\text{стін}} = 0,5$  та розрахункової поверхні  $\rho_{\text{розрпов}} = 0,1$ .
3. Система освітлення - загального рівномірного робочого освітлення, комбінована.
4. Вибираємо варіант з лампами ДРЛ. Для системи аварійного освітлення вибираємо лампи розжарювання (ЛН).
5. Вибираємо відповідні коефіцієнти запасу ОУ  $k_{\text{оу}} = 1,5$ .
- 6., Розрахункова висота  $H_p = H - 0,8 = 4,8 - 0,8 = 4 \text{ м}$  та нерівномірності освітлення  $z = 12$ .

					<i>ДП 2021 141</i>			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Петренко В. Р.			Розрахунок електричного освітлення цеху	Літ.	Лист	Листів
Перевір.		Шестеренко В.С					67	
Реценз.						<i>ЗЕЛ 5-8ск.ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого</i>		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М						

Розрахунок:

1. Знаходимо індекс приміщення:  $i = \frac{ab}{h(a+b)} = \frac{30 \cdot 12}{4 \cdot (30+12)} = 2,14$

2. За допомогою таблиць 9.14 [8] вибираємо коефіцієнт використання приміщення при  $i=2,14$ ,  $\rho_p = 0,1$ ,  $\rho_p = \rho_{стелі} = 0,5$ , КСС типу Д2

$$\eta_{np} = 0,75, \eta_{ce} = 0,7.$$

Тоді

$$\eta_{ou} = \eta_{np} \cdot \eta_{ce} = 0,75 \cdot 0,7 = 0,52.$$

3. По таблицях для вибраної КСС типу Д2 знаходимо оптимальне співвідношення

$$\lambda_{opt.} = \frac{L}{H_p} = 0,96$$

де  $L$  - відстань між рядами світильників.

Відстань між рядами світильників, яка забезпечить рівномірне освітлення

$$L_{opt.} = \lambda_{opt.} \cdot H_p = 0,96 \cdot 4 = 3,84 м \approx 4 м$$

Відстань ОУ від стін

$$l = 0,5 \cdot L_{opt.} = 0,5 \cdot 4 = 2 м$$

4. Із врахуванням загальних принципів розміщення та розрахункові відстані  $L$  визначимо число рядів світильників:

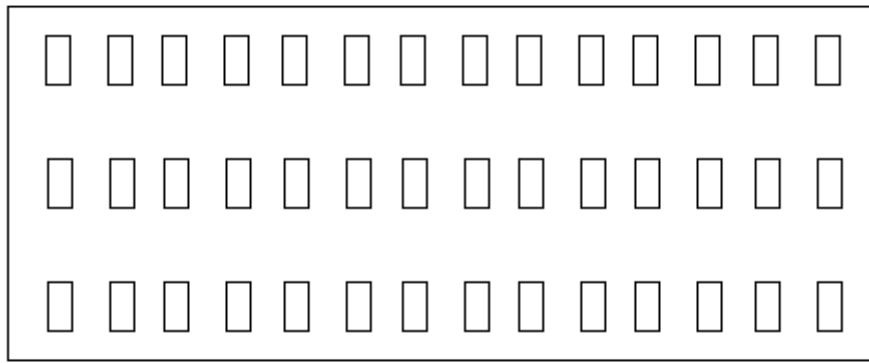


Рис. 16.1. План розташування світильників в цеху

За розрахунком маємо розміщення світильників у 3 ряди, в кожному по 14 світильників. Максимально можлива кількість ламп в приміщенні  $n_l = 42$ .

5. Визначаємо світловий потік для однієї лампи ДРЛ (необхідний для забезпечення освітленості 200лк):

$$\Phi_{\text{бажл}} = \frac{E_H \cdot K_3 \cdot z \cdot (a \times b)}{n_p \cdot \eta_{\text{ОВ}}}$$

$$\Phi_{\text{бажл}} = \frac{200 \cdot 1,5 \cdot 1,1 \cdot 360}{3 \cdot 0,52} = 76153,84 \text{ лм.}$$

де  $E_H = 200\text{лк}$  - норма освітлення. Приймаємо для обраного цеху 42 дволампових світильника ПВЛМ-2x40.

Для всіх інших приміщень цеху розрахунок проводимо аналогічно. Результати зводимо в таблицю. 16.1.

Таблиця 16.1

Назва технологічного відділення (приміщення)	Норма освітлення Е, лк	Тип світильник а	Кількість рядів N <sub>Р</sub> , шт.	Кількість Світильників в п <sub>св.</sub> , шт.
1. Відділення оформлення	150	УСП5	2	2
2. Маслоцех	200	ПВЛМ	3	42
3. Апаратне відділення	150	ПВЛМ	3	32
4. Камера зберігання масла	20	НСП11	2	7
5. Камера зберігання ЦМП та любительського сиру	20	НСПО	2	8
6. Цех цільномолочної продукції та любительського сиру	150	ПВЛМ	5	50
7. Заквасочна камера	150	ПВЛМ	3	6
8. Відділення прання мішків	100	ПВЛМ	1	2
9. Приміщення баку крижаної води	20	НСПО	1	2
10. Склад тари	20	НСПО	4	9

## І7.Облік електроенергії та її економія.

Вимірювання напруги передбачено в РУ - 10 кВ на кожній секції шин камер КСО - 285 та на вхідних панелях КТП.

Струм навантаження вимірюється на кожному вводі низької напруги підстанцій, а також на вхідних шафах РУ - 10 кВ.

Лічильники розрахункового обміну активної та реактивної енергії встановлюються з низької сторони на вхідних панелях 0,4 кВ підстанції.

Для регулювання добового графіка навантажень передбачена можливість відключення фідерів, що живлять другорядні навантаження (майстерні, лабораторії та ін.).

Проектом передбачається автоматизований облік електроенергії з використанням **автоматизованої системи контролю та обліку електроенергії (АСКОЕ).**

Встановлюваний комплекс засобів АСКОЕ призначений для автоматизації обміну електроенергії та управління енергоспоживанням на молокозаводі, ведення обліку використання активної і реактивної енергії по змінах, добах, місяцях.

Датчики - перетворювачі Е 440 підключаються до лічильників активної і реактивної енергії (САЗУ, СРЗУ), які встановлені в електрощитовій та РУ - 10 кВ проектної трансформаторної підстанції. Показання лічильників - датчиків передаються на пристрій обробки інформації (УОІ).

В ролі магістрального кабелю для передачі інформації на пристрій обробки інформації використовується телефонний кабель ТПП 50÷2х0,5, який прокладений в каналі трансформаторної підстанції.

Особливістю автоматизованої системи АСКОЕ є матричне підключення первинних вимірювальних перетворювачів (датчиків).

					<i>ДП 2021 141</i>			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		<i>Петренко В. Р.</i>			<b>Облік електроенергії та її економія</b>	Літ.	Лист	Листів
Перевір.		<i>Шестеренко В.С</i>					71	
Реценз.						<i>ЗЕЛ 5-8ск.ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого</i>		
Н. Контр.								
Затверд.		<i>Балюта С.М</i>						

Інформаційне табло включає функціональну клавіатуру, цифрові та світлодіодні індикатори, які забезпечують оптимальну взаємодію оператора з об'єктами контролю.

Програмне забезпечення, що використовується системою, дозволяє реалізувати взаємодію системи із зовнішніми пристроями в діалоговому режимі, одержання інформації із бази даних та інші" сервісні функції, що полегшують оперативний контроль і управління енерговикористанням об'єктів.

Для забезпечення прямого каналу зв'язку між системою автоматизованого обліку та диспетчерським пунктом "Житомиробленерго" використовується виділена фізична пара кабелю міської телефонної мережі.

В мінімальній конфігурації системою можуть виконуватися наступні функції комерційного і технічного обміну енергії:

- обмін споживання по первинних лічильниках за інтервали часу: "3 хв.", "30 хв.", "доба", "місяць", "квартал"; крім цього, в інтервалі "доба", "місяць", "квартал" ведеться диференційований облік по чотирьох зонах доби (дві зони контролю максимуму споживання та дві - для мінімуму споживання).
- те ж саме, для груп обміну, що являють собою алгебраїчну суму показань первинних лічильників. При обліку електроенергії кожна група включає в себе дві складові - активну і реактивну;
- функція значення і часу найбільшої потужності в зоні максимуму навантаження; інформація зберігається окремо по інтервалах "доба", "місяць", "квартал" з диференціюванням по двох зонах;
- контроль лімітів потужності в часи ранкового та вечірнього максимумів і планів споживання на "добу", "місяць", "квартал" для активних складових груп, звукова сигналізація в разі перевищення;
- зберігання 30-ти хвилинного графіка для восьми груп (окремо для активної та реактивної складових);
- обчислення змінної, середньої за останні 30 хв., для кожного датчика;

- обчислення середнього значення реактивної потужності в зоні мінімуму навантаження, відхилення фактичного споживання реактивної енергії від оптимального;
- прогноз активної потужності на кінець 30 хв., зон максимуму навантаження, попереджувальна звукова сигналізація;
- контроль наявності надходження інформації від первинних датчиків;
- підрахунок вартості електроенергії за будь - якими тарифами.

Електричне живлення системи АСКОЕ здійснюється від розподільчого пункту МРП - 2, встановленого в приміщенні КТП. Основним елементом АСКОЕ є лічильник на базі мікропроцесора, можливості якого такі ж, як у персонального комп'ютера. Резервним джерелом живлення є кислотна акумуляторна батарея 6 СТ - 130.

При відключенні напруги живлячої мережі дієдатність пристрою обробки інформації зберігається шляхом автоматичного переключення на джерело резервного живлення.

### **Установка і введення в експлуатацію.**

Установка та монтаж технічних засобів системи АСКОЕ проводиться згідно з інструкцією по монтажу та експлуатації і схемою підключення.

Металічні корпуси всіх частин системи повинні бути надійно заземлені.

Прокладка кабелів зв'язку проводиться в загальних кабельних каналах разом з силовими кабелями згідно вимогам ПУЕ. Відстань від кабелів зв'язку системи обліку до силових кабелів при прокладці їх в загальних кабельних каналах повинна бути не менше 30 см.

Система АСКОЕ після монтажу і наладки здається на державну повірку. Система опечатується представником "Енергонагляду". Опечатці підлягають всі вузли

					<i>ДП 2021 141</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<b>73</b>

та органи управління, які несуть можливий вплив на результати розрахунків та вимірів.

### Економія електроенергії.

Встановлення автоматизованої системи контролю та обліку електроенергії дасть можливість здійснити технічний облік споживаної електроенергії по об'єктах молокозаводу, що в свою чергу створить умови правильного використання електроенергії і можливість її економії.

Система обліку і наближення електронавантаження підприємства до максимального заявленого дозволить прийняти необхідні заходи і уникнути порушень та штрафних санкцій "Енергонагляду". Економічний ефект від впровадження системи обліку буде одержаний шляхом зниження вартості електроенергії, використаної заводом, на величину порядку 1,5% за рахунок упорядкування роботи обладнання, зниження заявленої потужності в часи максимуму енергосистеми, скорочення зайнятості персоналу, який обслуговує пристрої обміну електроенергії.

					<i>ДП 2021 141</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<b>74</b>

## 18. Охорона праці

### 18.1. Обґрунтування рішення щодо розміщення електротехнічного обладнання

Нормативні акти щодо електробезпеки на підприємствах енергетичної галузі та підприємствах інших галузей, де використовують системи електропостачання розробляються на підставі Державних нормативно-правових актів з охорони праці.

При плануванні схем розміщення конденсаторних установок на виробничому об'єкті у повному обсязі були взяті до уваги «Правила улаштування електроустановок», затверджені Наказом Міненерговугілля України від 21.07.2017 № 476, та «Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів», затверджені Наказом Міністерства палива та енергетики України від 25 липня 2006 р. N 258 (у редакції наказу Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 13 лютого 2012 р. N 91).

#### 18.1.1 Правила розміщення та експлуатації конденсаторних установок на виробничому об'єкті

Ці Правила встановлюють основні організаційні й технічні вимоги до експлуатації електроустановок та електрообладнання (далі - електроустановки) споживачів і направлені на забезпечення надійної, безпечної та раціональної експлуатації електроустановок.

Правила обов'язкові для працівників, що здійснюють експлуатацію електроустановок споживачів, функції керування, регулювання режимів електроспоживання, інспектування електроустановок споживачів, а також підприємств, установ та організацій усіх форм власності, що виконують

					<i>ДП 2021 141</i>			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Петренко В. Р.			Охорона праці	Літ.	Лист	Листів
Перевір.		Сірик А.О.					75	
Реценз.						<i>ЗЕЛ 5-8ск.ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого</i>		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М						

науково-дослідні, проектно-конструкторські і проектні роботи, виготовлення, постачання, монтаж, налагодження, випробування, діагностику,

ремонт електроустановок споживачів.

Усі діючі електроустановки споживачів, а також ті, що проектуються, споруджуються, реконструюються чи модернізуються, повинні відповідати вимогам нормативно-правових актів, чинним правилам улаштування електроустановок та іншим нормативно-технічним документам.

### ***Вимоги щодо розміщення конденсаторів:***

Конструкція конденсаторної установки має відповідати умовам навколишнього середовища.

Конденсаторні установки можна розміщувати в приміщеннях розподільних установок напругою до 1 кВ і вище або в основних і допоміжних виробничих приміщеннях, віднесених до категорій Г і Д, згідно з НАПБ 06.015 і НАПБ Б.03.002.

Для конденсаторних установок з конденсаторами, які містять діелектричну рідину, має бути передбачено засоби, що запобігають розтіканню діелектричної рідини по кабельних каналах і підлозі приміщення (у разі порушення герметичності корпусів конденсаторів) і забезпечують її подальше видалення.

Конденсаторні установки, розміщені у виробничому приміщенні, повинні мати сітчасті огорожі або захисні кожухи.

Відстань між одиничними конденсаторами напругою понад 1 кВ має бути не менше ніж 50 мм і вибиратися за умови охолодження конденсаторів і забезпечення ізоляційних відстаней. Відстань між одиничними конденсаторами напругою до 1 кВ має відповідати вимогам виробника конденсаторів.

### ***Правила технічної експлуатації конденсаторної установки.***

					ДП 2021 141	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		76

Конденсаторні установки, їх розміщення та захист повинні відповідати вимогам ПУЕ.

Конденсаторна установка повинна бути в технічному стані, що забезпечує її тривалу та надійну роботу.

Керування режимом роботи конденсаторної установки, як правило, повинно бути автоматичним, якщо в разі ручного керування неможливо забезпечити необхідну якість електроенергії.

Тип, потужність, місце встановлення і режим роботи компенсуювальних пристроїв вибираються проектною чи спеціалізованою організацією відповідно до технічних умов електропередавальної організації на приєднання електроустановок, технічних характеристик та режимів роботи електроустановок споживачів з урахуванням вимог чинних НД з компенсації реактивної потужності.

Розташування конденсаторів і режими їх роботи повинні відповідати умовам найбільшого зниження втрат активної потужності від реактивних навантажень з урахуванням вимог щодо підтримання рівня напруги на затискачах приймачів.

У приміщеннях (шафах) конденсаторних батарей (незалежно від їх розташування) повинні бути:

– однолінійна принципова схема конденсаторної установки із зазначенням номінального значення сили струму плавких вставок запобіжників, які захищають окремі конденсатори, всю конденсаторну установку або її частину, а також значення уставки реле максимального струму в разі застосування захисного реле;

– стаціонарні пристрої пофазного вимірювання струму. Для конденсаторних установок потужністю до 400 кВ·Ар допускається застосування одного пристрою, що перемикається за фазами;

- термометр або датчик вимірювання температури навколишнього повітря;
- спеціальна штанга для контрольного розрядження конденсаторів;
- резервний запас запобіжників на відповідні номінальні струми плавких вставок;
- первинні засоби пожежогасіння (необхідна кількість первинних засобів пожежогасіння та їх види визначаються відповідно до НАПБ А.01.001-2004 та НД з питань пожежної безпеки).

Якщо температура навколишнього повітря в місці встановлення конденсаторів нижча за граничнодопустиму мінусову температуру, зазначену на їх паспортних табличках, увімкнення в роботу конденсаторної установки забороняється. Увімкнення конденсаторної установки допускається лише після підвищення температури навколишнього повітря до вказаного в паспорті значення температури.

Температура навколишнього повітря в місці встановлення конденсаторів повинна бути не вищою за максимальне значення, зазначене в їх паспортних табличках. У разі перевищення цієї температури повинні вживатись заходи щодо підсилення ефективності вентиляції. Якщо протягом однієї години температура не знижується, конденсаторна установка повинна бути вимкнена.

Для недопущення режиму перетікання реактивної потужності з електричних мереж споживачів, якщо такий режим не обумовлено електропередавальною організацією, конденсаторні установки відключаються від електромереж в неробочі години підприємства.

У конденсаторних установках на напругу понад 1 кВ розрядні пристрої повинні бути постійно приєднані до конденсаторів, тому в колі між резисторами і конденсаторами не повинно бути комутаційних апаратів.

Увімкнення і вимкнення конденсаторних установок на напругу 1 кВ і більше за допомогою роз'єднувачів забороняється. Умикати конденсаторну батарею в той час, коли значення напруги на збірних шинах перевищує найбільше допустиме для даного типу конденсаторів, забороняється.

Заміна згорілих або несправних запобіжників здійснюється на вимкненій конденсаторній батареї після контрольного розряду всіх конденсаторів батареї спеціальною штангою.

У разі вимкнення конденсаторної установки повторне її увімкнення допускається для конденсаторів на напругу понад 1 кВ не раніше ніж через 5 хв після вимкнення, а для конденсаторів на напругу 660 В і нижче - не раніше ніж через 1 хв.

Увімкнення конденсаторної установки, що була вимкнена дією захистів, допускається після з'ясування й усунення причини, що викликала її вимкнення.

Огляд конденсаторної установки без вимкнення здійснюється з такою періодичністю:

- на об'єктах з постійним чергуванням працівників - не рідше ніж один раз на добу;
- на об'єктах без постійного чергування працівників - не рідше ніж один раз на місяць.

Під час огляду конденсаторної установки перевіряють:

- справність огорожі, цілість замків, відсутність сторонніх предметів;
- відсутність пилу, бруду, тріщин на ізоляторах;
- температуру навколишнього повітря в найгарячішому місці приміщення, в якому встановлена батарея;
- відсутність спучування стінок конденсаторів та слідів витікання просочувальної рідини (масла, софтола тощо) з них; наявність плям

просочувальної рідини не є причиною для зняття конденсаторів з експлуатації - такі конденсатори слід узяти під нагляд;

- цілісність плавких вставок (зовнішнім оглядом) у запобіжниках відкритого типу;
- значення сили струму і рівномірність навантаження окремих фаз батареї конденсаторів;
- значення напруги на шинах конденсаторної установки або на шинах найближчої РУ;
- справність кола розрядного пристрою;
- справність усіх контактів (зовнішнім оглядом) електричної схеми увімкнення батареї конденсаторів (струмопровідних шин, заземлення, роз'єднувачів, вимикачів тощо);
- наявність і справність блокування для безпечної експлуатації;
- наявність і справність засобів захисту (спеціальної штанги тощо) та засобів гасіння пожежі.

Про результати огляду повинен бути зроблений відповідний запис в оперативному журналі.

Експлуатація конденсаторних батарей забороняється у таких випадках:

- якщо значення напруги на виводах одиничного конденсатора перевищує 110 % від його номінальної напруги або напруга на шинах, до яких приєднано конденсаторні батареї, становить понад 110 % від номінального значення напруги конденсаторів;
- за значень температури навколишнього повітря, які знаходяться поза межами граничнодопустимих для конденсаторів даного типу відповідно до паспортних даних конденсаторних установок;
- при наявності спучування стінок конденсаторів;
- при нерівномірності навантаження фаз конденсаторної установки понад 10 % від середнього значення сили струму;

					<i>ДП 2021 141</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		80

- при збільшенні сили струму батареї понад 30 % від її номінального значення;
- при крапельній течі просочувальної рідини;
- при пошкодженні фарфорового ізолятора.

Капітальний ремонт конденсаторних установок необхідно проводити не рідше ніж один раз на 8 років. Поточні ремонти конденсаторних установок необхідно проводити щорічно.

У точках підключення конденсаторних установок напругою до 1 кВ рекомендується періодично (один раз на рік) контролювати рівень та склад гармонійних складових напруги відповідно до ГОСТ 13109-97.

На шинах напругою 6 кВ - 10 кВ, до яких підключені конденсаторні установки, рекомендовано встановлювати пристрої безперервного моніторингу гармонійних складових напруги.

### **18.1.2 Вимоги до працівників, що обслуговують ЕУ**

*Вимоги за віком.* Працівникам, молодшим 18 років, може бути присвоєна кваліфікаційна група з електробезпеки не вища II.

*Вимоги щодо здоров'я.* Перед прийняттям на роботу і періодично через 2 роки особи, що обслуговують діючі ЕУ, проходять медогляд.

*Вимоги щодо кваліфікації.* Перед прийомом на роботу і під час роботи працівники проходять відповідні інструктажі. Крім того, до призначення на самостійну роботу, у випадку переведення на іншу роботу та перерви у роботі більше 6 місяців і періодично через рік працівники, які обслуговують діючі ЕУ, проходять навчання і складають екзамени кваліфікаційній комісії; за результатом екзамену їм присвоюється кваліфікаційна група з електробезпеки і видається іменне посвідчення.

					ДП 2021 141	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		81

Всього існує п'ять кваліфікаційних груп – I -V. Група I присвоюється без складання екзамену після відповідного інструктажу. Для присвоєння чергової групи з електробезпеки необхідно мати мінімальний стаж роботи в ЕУ з попередньою групою. Для роботи в ЕУ напругою до 1 кВ працівник повинен мати II або III групи, а до та понад 1 кВ – IV або V групи.

## **18.2 Організаційні та технічні заходи з охорони праці**

Електробезпека — це система організаційних та технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого та небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електрики.

Аналіз виробничого травматизму показує, що кількість травм, які спричинені дією електричного струму є незначною і складає близько 1%, однак із загальної кількості смертельних нещасних випадків частка електротравм складає 20-40% і займає одне з перших місць.

### ***18.2.1 Небезпека включення людини в електричну мережу.***

Причинами ураження людей електричним струмом є наступні:

- дотик до неізольованих струмоведучих частин електроустановок, які знаходяться під напругою, або до ізольованих при фактично пошкодженій ізоляції;
- дотик до неструмоведучих частин електроустановок або до електрично зв'язаних з ними металоконструкцій які опинилися під напругою;
- дія напруги кроку;
- ураження через електричну дугу.

Ступінь небезпеки і результат ураження електричним струмом залежать: від схеми «підключення» людини в електричний ланцюг електричної мережі. Поразка людини електричним струмом може бути викликана однополюсним

(однофазним) або двополюсним (двофазним) дотиком до струмоведучих частини установки.

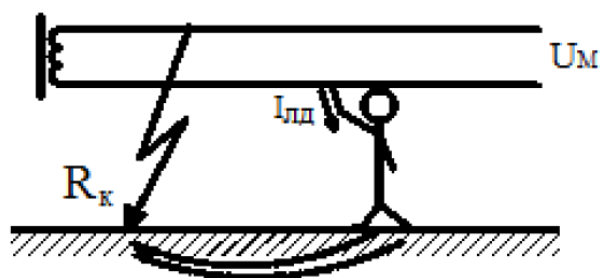
### 18.2.2 Аналіз небезпеки ураження людини в різних електричних мережах при аварійних режимах роботи (двофазне та однофазне включення людини в мережу).

У трифазних ЕМ можуть бути три види прямого дотику (рис. 1):

- однофазний прямий дотик – це дотик людини, що стоїть на провідній основі, до одного фазного провідника;
- двофазний прямий дотик – це одночасний дотик людини до двох різних фазних провідників;
- одночасний дотик до фазного і N-, PE- чи PEN- провідників у мережах напругою до 1 кВ з глухозаземленою нейтраллю.

#### *Однополюсний прямий дотик при аварійному стані однофазної ЕМ.*

Розглядається випадок прямого дотику людини до одного полюса ЕМ, при цьому другий полюс ЕМ замкнутий на землю.



*Рис. 1. Схема однополюсного прямого дотику при аварійному стані однофазної ЕМ*

Перехідний опір у місці замикання на землю другого полюсу ЕМ дорівнює  $R_k$ . Струм протікає через людину, землю і перехідний опір замикання на землю другого полюса ЕМ.

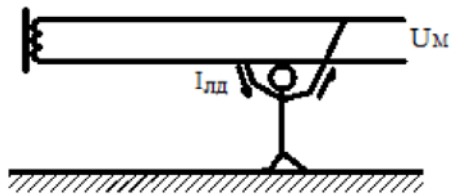
$$I_{\text{ЛД}} = U_{\text{М}} / (R_{\text{К}} + R_{\text{ЛД}}).$$

Якщо замикання на землю "глухе", тобто  $R_{\text{К}} \rightarrow 0$ , то:

$$I_{\text{ЛД}} \approx U_{\text{М}} / R_{\text{ЛД}}.$$

### ***Двополюсний прямий дотик в однофазній ЕМ.***

У цьому випадку напруга мережі  $U_{\text{М}}$  прикладена до тіла людини.



***Рис. 2. Схема двополюсного прямого дотику в однофазній ЕМ***

Струм протікає за верхньою стандартною петлею, і вираз для визначення його сили має вигляд:

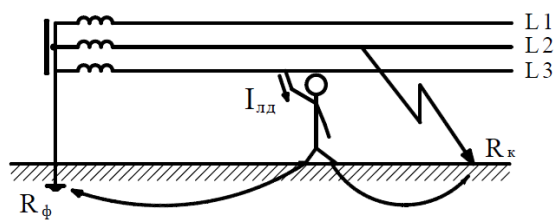
$$I_{\text{ЛД}} = U_{\text{М}} / R_{\text{ЛД}}.$$

***Аналізуючи розглянуті випадки прямого дотику у однофазних мережах змінного та постійного струму, можемо зробити наступні висновки:***

- найбільш небезпечний випадок двополюсного прямого дотику через те, що у цьому випадку сила ІЛД матиме найбільше значення, бо опір кола людини буде мінімальним, а струм протікатиме за найбільш небезпечним шляхом;
- найменш небезпечний випадок однополюсного прямого дотику у мережі ізольованій від землі, бо у цьому випадку сила струму через людину обмежується великим значенням опору витoku.

***Однофазний прямий дотик у аварійному стані трифазної ЕМ із глухозаземленою нейтраллю.***

У цьому випадку людина доторкається до справного фазного провідника мережі (наприклад, L3), а інший фазний провідник (наприклад, L2) має замикання на земля через перехідний опір  $R_K$  (опір контакту).



**Рис. 3. Схема однофазного прямого дотику у аварійному стані трифазної ЕМ із глухозаземленою нейтраллю**

Шлях протікання струму: через людину на землю, а далі по двом напрямкам до місця замикання на землю ( $R_K$ ) та до функціонального заземлення ( $R_\Phi$ ). Силу струму, що протікає через людину, можна визначити для цього випадку за наступною залежністю:

$$I_{\text{лД}} = U_\Phi \cdot (R_\Phi \sqrt{3} + R_K) / [R_\Phi R_K + R_{\text{лД}} (R_\Phi + R_K)]$$

Простіше  $I_{\text{лД}}$  можна визначити за величиною напруги дотику:

$$I_{\text{лД}} = U_{\text{ДОТ}} / R_\Phi.$$

Величина  $U_{\text{ДОТ}}$  залежить від величини опорів  $R_\Phi$  і  $R_K$ :

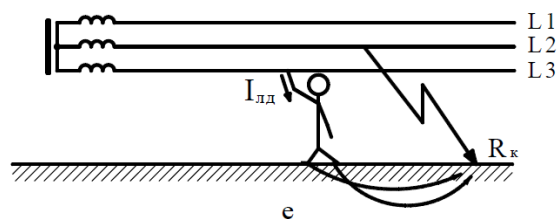
- якщо  $R_K \rightarrow 0$ ,  $U_{\text{ДОТ}} \rightarrow U_L$  (лінійна напруга);
- якщо  $R_K \gg R_\Phi$ ,  $U_{\text{ДОТ}} \rightarrow U_\Phi$  (фазна напруга).

Для зовсім наближених розрахунків можна користуватись наступною залежністю:

$$I_{\text{лД}} = 0,67 \cdot U_L / R_{\text{лД}}.$$

**Однофазний прямий дотик у аварійному стані трифазної ЕМ з ізольованою нейтраллю.**

У випадку такого дотику, шлях протікання струму наступний: через людину у землю і до місця замикання іншої фази на землю.



**Рис. 4. Схема однофазного прямого дотику у аварійному стані трифазної ЕМ із ізольованою нейтраллю**

Силу цього струму можна визначити із залежності:

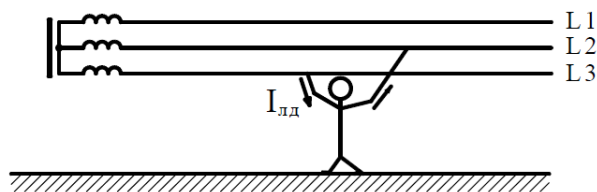
$$I_{лд} = U_{л} / (R_{к} + R_{лд}).$$

Якщо  $R_{к} \ll R_{лд}$  (а опір  $R_{к}$  надзвичайно рідко буває більшим 100 Ом), то

$$I_{лд} \approx U_{л} / R_{лд}.$$

Тобто людина, що доторкається до справного фазного провідника такої мережі, підпадає під лінійну напругу.

**Двофазний прямий дотик у трифазній ЕМ** (рис. 2, ж).



**Рис. 5. Схема двофазного прямого дотику у трифазній ЕМ**

У такому випадку основний струм протікає через верхню стандартну петлю (від однієї руки до другої) і сила цього струму може бути визначена за наступними залежностями:

- якщо мережа напругою до 1кВ – за формулою  $I_{лд} \approx U_{л} / R_{лд}$ ;

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата



– небезпечними є також і випадки прямих однофазних дотиків у разі аварійного стану ЕМ з ізольованою нейтраллю, коли людина потрапляє під дію лінійної напруги.

### 18.3. Практичний розрахунок.

Людина доторкнулась до фазного проводу трифазної чотирипровідної мережі 380/220 В (частотою 50 Гц) з заземленою нейтраллю. 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.

Вихідні дані для розрахунку:

Опір тіла людини  $R_{\text{л}} = 600 \text{ Ом}$ .

Опір заземлення нейтралі  $R_0 = 3,9 \text{ Ом}$ .

Опір ізоляції провідників  $R_A = R_B = R_C = R_N = R = 40 \text{ кОм}$ .

Ємність провідників  $C_A = C_B = C_C = C_N = C = 0,08 \text{ мкФ}$ .

Опори замикання на землю:  $R_{\text{зам}A} = 160 \text{ Ом}$ ,  $R_{\text{зам}B} = 80 \text{ Ом}$ ,

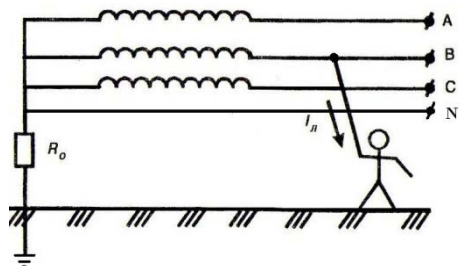
$R_{\text{зам}C} = 5 \text{ Ом}$ ,  $R_{\text{зам}N} = 0,2 \text{ Ом}$ .

Фазна напруга (напруга між лінійним і нейтральним проводами)  $U_{\text{ф}} = 220 \text{ В}$

Лінійна напруга (напруга між двома лінійними проводами)  $U_{\text{л}} = 380 \text{ В}$

***Однофазний прямий дотик у мережі з заземленою нейтраллю за нормального режиму роботи.***

Трифазові електричні мережі з глухозаземленою нейтраллю мають малий опір між нейтраллю та землею. Напруга будь-якої фази справної мережі відносно землі дорівнює фазовій напрузі.



**Рис. 7. Схема однофазного прямого дотику у мережі з заземленою нейтраллю за нормального режиму роботи**

У цьому випадку напруга дотику знаходиться за формулою :

$$U_{\text{дот}} = U_{\text{ф}} \cdot \frac{R_{\text{л}}}{R_{\text{л}} + R_0} ;$$

$$U_{\text{дот}} = 220 \cdot \frac{600}{600 + 3,9} \approx 219 \text{ В} .$$

Струм через людину в такому випадку протікає у землю і скеровано до джерела живлення (трансформатора). Струм через людину можна визначити із залежності:

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{л}} + R_0} ,$$

де  $R_0$  – опір функціонального заземлення;  $U_{\text{ф}}$  – фазна напруга мережі.

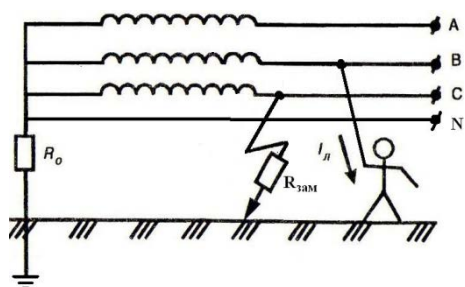
$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{л}} + R_0} = \frac{220}{600 + 3,9} \approx 0,36 \text{ А} ,$$

**Однофазний прямий дотик у аварійному стані ЕМ з глухозаземленою нейтраллю.**

Замиканням на землю називається випадкове електричне з'єднання частин ЕУ, яка знаходяться під напругою, із землею. *Небезпека замикань на землю в ЕУ* зумовлена струмопровідними властивостями ґрунту на поверхні землі. Ґрунт має певний електричний опір, через це на поверхні ґрунту під час протікання струму з'являються потенціали.

Замикання на землю в ЕУ відбувається у таких випадках:

- обриву і падіння на землю проводів ПЛ під напругою;
- пробі ізоляції КЛ і замиканні фази на землю;
- ушкодженні ізоляції та переході фазної напруги мережі на заземлені корпуси ЕУ .



**Рис. 8. Схема однофазого прямого дотику у аварійному стані ЕМ з глухозаземленою нейтраллю**

У цьому випадку людина доторкається до справного фазного провідника мережі (наприклад, А), а інший фазний провідник (наприклад, С) має замикання на землю через перехідний опір  $R_{зам}$  (опір контакту). Струм протікає через людину на землю і розділяється на дві частини: одна прямує до місця замикання на землю ( $R_{зам}$ ), а інша – до джерела живлення ( $R_0$ ).

В аварійному режимі, коли одна з фаз мережі замкнена на землю, відбувається перерозподіл напруги, і напруга справних фаз відносно землі відрізняється від фазової напруги мережі. Доторкнувшись до справної фази, людина опиняється під напругою, котра більша, ніж фазова, але менша, ніж лінійна.

У цьому випадку напругу дотику визначаємо за формулою:

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

Знаходимо  $U_{\text{дот}}$  для наступних значень:

$$U_{\phi} = 220 \text{ В}; R_{\text{л}} = 600 \text{ Ом}; R_{\text{зам}} = 160 \text{ Ом}; R_0 = 3,9 \text{ Ом}.$$

$$U_{\text{дот}} = 220 \cdot 600 \cdot \frac{160 + 3,9 \cdot \sqrt{3}}{160 \cdot 3,9 + 600(160 + 3,9)} = 222 \text{ В}.$$

За тими же вхідними даними розраховується струм через людину :

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

$$I_{\text{л}} = 220 \cdot \frac{160 + 3,9 \cdot \sqrt{3}}{160 \cdot 3,9 + 600(160 + 3,9)} = 0,37 \text{ А}$$

Струм, який протікає через людину, можемо визначити за величиною напруги прямого дотику  $U_{\text{дот}}$

$$I_{\text{л}} = U_{\text{дот}} / R_{\text{л}}, I_{\text{л}} = \frac{222}{600} = 0,37 \text{ А}.$$

Знаходимо інші значення  $U_{\text{дот}}$  та  $I_{\text{дот}}$  підставляючи відповідні параметри  $R_{\text{зам}}$ .

$$U_{\phi} = 220 \text{ В}; R_{\text{л}} = 600 \text{ Ом}; R_{\text{зам}} = 80 \text{ Ом}; R_0 = 3,9 \text{ Ом}.$$

$$U_{\text{дот}} = 220 \cdot 600 \cdot \frac{80 + 3,9 \cdot \sqrt{3}}{80 \cdot 3,9 + 600(80 + 3,9)} = 226 \text{ В}, I_{\text{л}} = \frac{226}{600} = 0,38 \text{ А}.$$

$$U_{\phi} = 220 \text{ В}; R_{\text{л}} = 600 \text{ Ом}; R_{\text{зам}} = 5 \text{ Ом}; R_0 = 3,9 \text{ Ом}.$$

$$U_{\text{дот}} = 220 \cdot 600 \cdot \frac{5 + 3,9 \cdot \sqrt{3}}{5 \cdot 3,9 + 600(5 + 3,9)} = 290 \text{ В}, I_{\text{л}} = \frac{290}{600} = 0,48 \text{ А}.$$

$$U_{\phi} = 220 \text{ В}; R_{\text{л}} = 600 \text{ Ом}; R_{\text{зам}} = 0,2 \text{ Ом}; R_0 = 3,9 \text{ Ом}.$$

$$U_{\text{дот}} = 220 \cdot 600 \cdot \frac{0,2+3,9 \cdot \sqrt{3}}{0,2 \cdot 3,9+600(0,2+3,9)} = 373 \text{ В}, I_{\text{л}} = \frac{273}{600} = 0,62 \text{ А}.$$

Отримані значення занесемо до таблиці:

$U_{\phi}$	220 В			
$R_{\text{л}}$	600 Ом			
$R_0$	3,9 Ом			
$R_{\text{зам}}$	160	80	5	0,2
$U_{\text{дот}}$	222	226	290	373
$I_{\text{дот}}$	0,37	0,38	0,48	0,62

Таким чином, дотик до справної фази при замиканні другої фази на землю небезпечніший, ніж дотик до фази в нормальному режимі роботи трифазової мережі з заземленою нейтраллю, а найбільш небезпечним є двофазовий дотик.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Затверджено наказом Міністерства палива та енергетики України від 25.10.2006.
2. Шестеренко В.Є. Проектування систем електропостачання./ В.Є. Шестеренко., О.В.Шестеренко – К.: ПП “К“, 2017. – 436 С.
3. Праховник А.В. Комплексне і системне вирішення проблеми компенсації реактивних навантажень в електричних мережах споживачів та енергопостачальних компаній / А.В.Праховник, В.М.Божко, Б.С.Рогальський, О.М. Нанака // Промислова електротехніка та електроенергетика. – 2004. - №2. – С.2-9.
4. Справочник по проектированию электрических сетей / Под ред. Д.Л.Файбисовича. – М.: Изд-во НИЦ ЭНАС, 2005. – 320 С.
5. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий / И.В.Жежеленко. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 331 С.
6. 33.Праховник А. В. Малая энергетика: распределенная генерация в системах энергоснабжения / А. В. Праховник. – К.: Освіта України, 2007. – 464 с.
7. Контроль потребления электроэнергии с учетом ее качества / О.Г.Гриб, В.И. Васильченко, Г.А.Сендерович и др.; под ред. О.Г. Гриба. – Харьков: ХНУРЭ, 2010. – 444 с.
8. Гриб О.Г. Особенности использования параметров режима сети для определения участия субъектов в искажении синусоидальности кривой напряжений /О.Г.Гриб, Г.А.Сендерович, П.Г.Щербакова// Восточно –

*ДП 2021 141*

Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
					СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ		
Розроб.		Петренко В. Р.			Лім.	Лист	Листів
Перевір.		Шестеренко В.Є				93	
Реценз.					ЗЕЛ 5-8скННІТІ ім. акад. І.С.Гулого		
Н. Контр.							
Затверд.		Балюта С.М					

европейский журнал передовых технологий. – 2007. - №5/4( 29). – С. 73-76.

9. Праховник А.В. Комплексне і системне вирішення проблеми компенсації реактивних навантажень в електричних мережах споживачів та енергопостачальних компаній / А.В.Праховник, В.М.Божко, Б.С.Рогальський, О.М. Нанака // Промислова електротехніка та електроенергетика. – 2004. - №2. – С.2-9.
10. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов / Ю.С. Железко. – М.: ЭНАС, 2009.- 456 С.
11. Электрическая энергия. Нормы качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения: ГОСТ 13109 - 97 – М.: Изд-во стандартов, 1997. – (Межгосударственный стандарт).
12. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів : М-во палива та енергетики України. – [1-ше вид., офіційне.]. – Харків: Вид-во „Індустрія”, 2007. – 272 с.
13. Методика визначення економічної ефективності витрат на наукові дослідження і розробки та їх впровадження у виробництво. – Наказ Міністерства економіки та з питань європейської інтеграції та Міністерства фінансів України від 26.09.01 №218/446. – Режим доступу: <http://zakon.nau.ua/doc/?uid=1022.307.0>
14. Стогній Б. С. Сталий розвиток енергетики та інтелектуальні енергетичні системи [Текст] / Б. С. Стогній // Праці Інституту електродинаміки НАН України. Спеціальний випуск. – Київ. – 2010. – С. 6–10. – ISSN 1727–9895.
15. Кириленко, О. В. Технічні особливості функціонування енергосистем при інтеграції джерел розподіленої генерації [Текст] / О. В. Кириленко, І. В. Трач // Праці Інституту електродинаміки НАН України. Випуск 24.– Київ. – 2009. – С. 3–7. – ISSN 1727–9895.

16. Правила користування електричною енергією [Електронний ресурс] / Національна комісія з питань регулювання електроенергетики України. – Постанова НКРЕ, документ z0417–96, редакція від 07.05.2010, підстава z0304–10). – Режим доступу : [http : //zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0417–96](http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0417-96).
17. ДСТУ 2155–93. Енергозбереження. Методи визначення економічної ефективності заходів по енергозбереженню [Текст]. – [Чинний від 1995–01–01]. – К. : Держспоживстандарт України, 1995. – 20 с. – (Національні стандарти України).
18. Tasic, D. S. Modified Fuzzy Clustering Method for Energy Loss Calculations in Low Voltage Distribution Networks / D. S. Tasic, M. S. Stojanovic // Electronics and electrical engineering. – 2006. – №2. – P.50–54.