

НУБІП України

**МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА**

**РЕДІН АРТУР МИКОЛАЙОВИЧ**

**2023**

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

НУБІП України

УДК

ПОГОДЖЕНО

Директор ІНІ енергетики,  
автоматики і енергозбереження

Каплун В.В.

(підпис)

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри  
електропостачання  
ім. проф. В.М. Синькова

Гай О.В.

(підпис)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

НУБІП України

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему «Розробка енергоощадних заходів з використанням відновлюваних джерел енергії у смт. Корнин Житомирського р-ну Житомирської обл.»

Спеціальність 141 - «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(код і назва)

Спеціалізація \_\_\_\_\_ дослідницька

(назва)

Магістерська програма \_\_\_\_\_ електричні мережі і системи

(назва)

Програма підготовки \_\_\_\_\_

освітньо-наукова

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

НУБІП України

Виконав

Редін А.М.

(підпис)

(ПІБ)

Керівник магістерської роботи

Д.Т.Н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Гай О.В.

(ПІБ)

НУБІП України

Нормоконтроль

К.Т.Н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Петренко А.В.

(ПІБ)

НУБІП України

Київ – 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ІНЖЕНЕРТЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

електропостачання ім. проф. В.М.Синькова

Д.Т.Н., доцент  
(ступінь, звання)

Гай О.В.  
(ПІБ)  
2023 р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Редіну Артуру Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 141 - «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(код і назва)

Спеціалізація дослідницька

(назва)

Магістерська програма електричні мережі і системи

(назва)

Програма підготовки освітньо-наукова

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської роботи «Розробка енергоощадних заходів з використанням відновлюваних джерел енергії у смт. Корнин Житомирського р-ну Житомирської обл.»

затверджена наказом ректора НУБіП України від

Термін подання завершеної роботи на кафедру

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи: характеристика сільськогосподарського підприємства, електричні навантаження споживачів, план розміщення споживачів електроенергії, схема електричної мережі господарства.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Параметри реконструкції електричної мережі господарства.
2. Обґрунтування параметрів резервного живлення господарства.
3. Дослідження параметрів комбінованого джерела живлення.

Перелік графічного матеріалу: презентація з 16 слайдів у програмному забезпеченні MS PowerPoint 2003.

Дата видачі завдання

Керівник магістерської роботи

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

(ПІБ)

Гай О.В.

(підпис)

(ПІБ)

Редін А.М.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....

ВСТУП.....

РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ.....

1.1. Загальна характеристика тваринницького приміщення.....

1.2. Вибір технологічного обладнання.....

1.2.1. Розрахунок потужності електричного освітлення.....

1.2.2. Розрахунок електричної потужності кормоприготування....

РОЗДІЛ 2 ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТВАРИННИЦЬКОЇ ФЕРМИ.....

2.1. Електричні навантаження на вводах в приміщення.....

2.2. Розрахунок допустимих втрат напруги.....

2.3. Вибір проводів лінії 0,38 кВ на території ферми.....

2.4. Розрахунок номінальної потужності споживчої ТП.....

2.5. Перевірка мережі 0,38 кВ на зниження напруги при запуску асинхронних двигунів.....

РОЗДІЛ 3 ВИБІР ТА МОНТАЖ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ .....

3.1. Розрахунок струмів короткого замикання в електричній мережі ЗТП

10/0,4 кВ.....

3.2. Вибір електрообладнання ЗТП 10/0,4 кВ.....

3.3. Обґрунтування заміни старих ПЛЛ 0,38 кВ на ПЛЛ з самонесучими

проводами АМКА.....

3.3.1. Область використання та переваги самонесучих ізолюваних проводів

АМКА.....

3.3.2. Конструкційне виконання СІП АМКА.....

3.3.3. Арматура для монтажу і ремонту СІП АМКА.....

3.3.4. Рекомендації по монтажу самонесучих ізолюваних проводів

АМКА.....

### 3.3.5. Висновки про використання самонесучих ізольованих проводів

АМКА

## РОЗДІЛ 4 ПІСЛЯВАРІЙНЕ ЖИВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІВ ВІД ДИЗЕЛЬНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

### 4.1. Обґрунтування параметрів ДЕС

#### 4.1.1. Вибір потужності генератора ДЕС

#### 4.1.2. Режим роботи дизельної електростанції

### 4.2. Вибір і перевірка струмопроводів на електродинамічну і термічну стійкість

### 4.3. Технічні характеристики дизельної електростанції

### 4.4. Підвищення електробезпеки обслуговуючого персоналу ДЕС

## РОЗДІЛ 5 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ВЕУ

### 5.1. Вибір потужності і кількості ВЕУ

#### 5.1.1. Розрахунок електричного навантаження проектного об'єкту

#### 5.1.2. Вітроенергетичний розрахунок

#### 5.1.3. Вибір кількості вітроенергетичних установок

#### 5.1.4. Вибір місця розташування ВЕУ

### 5.2. Компоновка розподільного пристрою і розрахунок захисно-комутаційної апаратури

#### 5.2.1. Визначення кількості ліній, що відходять до споживачів

#### 5.2.2. Розрахунок плавких вставок запобіжників або уставок автоматів

#### 5.2.3. Вибір магнітних пускачів

### 5.3. Розрахунок електричної мережі комбінованого електропостачання

#### 5.3.1. Вибір типу лінії і перетину дротів за умовами нагрівання

#### 5.3.2. Вибір перетину дротів за втратою напруги

#### 5.3.3. Перевірка чутливості плавких вставок і уставок автоматів при

однофазному короткому замиканні

## РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ

# НУБІП України

6.1. Аналіз стану охорони праці в сільськогосподарському підприємстві

6.1. Безпечність об'єкта проектування.....

6.1.1. Визначення категорій приміщень та класів виробничих зон..

6.1.2. Визначення джерел небезпеки.....

6.2. Розробка заходів щодо усунення небезпечних та шкідливих виробничих факторів..... 1

6.3. Розрахунок потреби та вибір захисних засобів.....

6.4. Захист від перенапруги.....

6.5. Техніка безпеки при експлуатації електрообладнання.....

6.6. Система протипожежного захисту.....

6.7. Розрахунок заземлювального пристрою ЗТП напругою 10/0,4 кВ..... 1

ВИСНОВКИ.....

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

## ВСТУП

# НУВБІП УКРАЇНИ

У сучасних умовах, сільське господарство України активно розвивається, незважаючи на економічні та політичні труднощі. Під час цього розвитку,

збільшується споживання енергії, при цьому електрична енергія є найбільш легко транспортованою, перетворюваною і використовуваною формою енергії. Щороку з'являється все більше способів і технологій її використання, що підвищує продуктивність праці. Проте, електропостачання в сільських населених пунктах та

виробничих підприємствах відрізняється від промислових підприємств. Головна

особливість полягає в необхідності підвести електроенергію до споживачів, багато з яких належать до I та II категорій електропостачання, що вимагає наявності двох резервних джерел живлення. Це означає, що в разі відмови одного джерела

живлення, інший може безперервно забезпечувати електричну енергію

споживачам. Це дуже важливо для виробничих підприємств, які потребують

стабільного електропостачання для забезпечення безперебійної роботи обладнання та устаткування. Крім того, у сільській місцевості часто відсутній доступ до газопостачання, тому електрична енергія використовується не тільки для

освітлення та побутових потреб, але й для опалення та приготування їжі.

Для забезпечення стабільного електропостачання в сільській місцевості, необхідно мати ефективну систему енергозабезпечення, яка включає в себе як генерацію електроенергії з відновлюваних джерел, так і використання

енергозберігаючих технологій. Крім того, важливо вдосконалювати мережі

електропостачання, зокрема, забезпечувати їх надійність та захист від перенапруг, що може виникати внаслідок природних лих або технічних несправностей.

В цілому, розвиток енергетичного сектору в сільській місцевості є важливим завданням для забезпечення сталого розвитку аграрного сектору та підвищення якості життя мешканців сільської місцевості.

Електропостачання сільського господарства має велике значення. Від його успішного вирішення залежить економічна ефективність використання електроенергії в сільському господарстві.

Вітроенергетика - це галузь виробництва електроенергії, яка використовує вітрову енергію. Головною пристроєм, який використовується для виробництва електроенергії від вітру, є вітрогенератор або вітроелектростанція.

Принцип дії вітроелектростанції полягає в перетворенні кінетичної енергії вітру на механічну енергію обертання лопастей вітрогенератора, яка згодом конвертується в електричну енергію генератором. Основною перевагою вітроенергетики є відсутність викидів парникових газів та інших забруднюючих речовин. Крім того, вітроенергетика дозволяє зменшити залежність від традиційних джерел енергії, таких як вугілля та нафта.

Однак, на жаль, вітрова енергія має певні обмеження. Відносно невеликі вітри та періоди з недостатнім вітром можуть знизити продуктивність вітроелектростанції. Крім того, встановлення вітрогенераторів потребує великих витрат на будівництво та обслуговування. Також, деякі люди можуть вважати вітрогенератори незручними для життя через їх зовнішній вигляд та можливий шум.

Незважаючи на ці обмеження, вітроенергетика є важливим напрямком розвитку енергетики в світі, який може знизити негативний вплив людства на довкілля.

При проектуванні вітроенергетичних установок необхідно забезпечити захист від руйнування від сильних поривів вітру. Для електропостачання сільськогосподарських підприємств та населених пунктів необхідно вибрати достатньо потужні ВЕУ та підібрати запобіжники, магнітні пускачі та живлячі дроти для кожного приєднання. Треба також врахувати режим роботи вітроколеса та скласти компоновку гондоли. Конструктивне виконання ЛЕП потрібно виготовляти з урахуванням вимог безпеки.

Метою магістерської роботи є забезпечення електропостачання тваринницької ферми за допомогою централізованого електропостачання та комбінованої системи електроживлення. Об'єктом дослідження є централізована та резервна система електроживлення електроприймачів тваринницької ферми, а предметом дослідження є електричні параметри електротехнічного обладнання



централізованої та резервної систем електроживлення. Для дослідження проводять аналіз стану електроспоживання та розрахунки електричних параметрів для вибору електрообладнання централізованої системи електропостачання від ТП та ВЕУ.

## РОЗДІЛ 1

### ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ

#### 1.1. Загальна характеристика тваринницького приміщення

Даний проект включає створення комплексу для вирощування свиней, що складатиметься з трьох свинарників-відгодівельників, кожен з них на 1500 голів, а також кормоцеху, складських приміщень, насосної установки та водонапірної башти. Свинарники розташовані поряд зі зерносховищем, овочекартоплесховищем, складом концентрованих кормів та насосною станцією. Комплекс розташований на відстані 350 метрів від житлових будинків, що забезпечує дотримання санітарної зони. Планується встановлення трансформаторної підстанції на території комплексу для живлення всього комплексу енергією. Свинарників-відгодівельників є міцними будівлями, які не потребують ремонту. Для обслуговування тварин працює 26 кормачів, які працюють у дві зміни. Розміри станкового приміщення дозволяють використовувати як мобільні, так і стаціонарні кормороздавачі. Тварин годують три рази на день з урахуванням їх віку та харчування. Для електропостачання двигунів у свинарнику-відгодівельнику використовують кабель АВРГ та провід АПВ4. Крім основних приміщень, таких як фуражна, інвентарне, венткамери, електрощитові та тамбури, є робоче та чергове освітлення. У разі перерви в електропостачанні, що триває до 10 годин, резервне живлення включається, оскільки свинарник-відгодівельник відноситься до II категорії електроприймачів. Можна жити через одну лінію або через одну кабельну лінію з двох кабелів, якщо їх аварійний ремонт можливо виконати протягом

однієї доби. Приміщення свинарника віднесене до вологого середовища з хімічно-активним середовищем, що створює високу небезпеку від ураження електричним струмом. Будівля має ступінь вогнестійкості І та відноситься до категорії "В" з пожежної точки зору. Присутнє обладнання грозозахисту, а всі струмоведучі частини електрообладнання заземлені та занулені для захисту персоналу. Більшість процесів у свинарнику-відгодівельнику, такі як вентиляція, прибирання гною, приготування та роздавання кормів, освітлення та водопостачання, залежать від електрики.

## 1.2. Вибір технологічного обладнання

### 1.2.1. Розрахунок потужності електричного освітлення

У виробничих приміщеннях використовуються різні типи лампових світильників для освітлення. Проект передбачає наявність трьох типів освітлення: робочого, чергового і ремонтного. Тваринницькі приміщення мають систему рівномірного освітлення, де світильники однакової потужності розташовані рівномірно над площею освітлення на однаковій висоті. Робоче освітлення забезпечує достатній рівень світлового потоку для технологічних процесів згідно з нормативами. Чергове освітлення використовується для догляду за тваринами у нічний час. Розрахунок освітлення тваринницьких приміщень для утримання свиней проводиться за допомогою коефіцієнта використання світлового потоку. В електрощитових, венткамерах і допоміжних приміщеннях використовуються світильники з лампами розжарювання.

Розміри приміщення: довжина -  $A=47$  м, ширина -  $B=7.9$  м, площа -  $S=607.3$  м<sup>2</sup>, висота -  $H=5$  м.

Коефіцієнти відбиття:

стелі -  $\rho_{\text{п}}=33$  %,

стін -  $\rho_{\text{с}}=14$  %,

підлоги -  $\rho_{\text{р}}=12$  %.

Середовище, в якому знаходиться свинарник, має високу вологість та хімічну

активність. Норма освітленості для свинарників-відгодівельників, де використовуються газорозрядні джерела світла, становить 50 лк, а освітлення розподіляється рівномірно на горизонтальній поверхні. Для освітлення тваринницьких приміщень використовуються світильники типу ПВЛМ 2x40, які призначені для вологих приміщень, мають ступінь захисту IP 54 та забезпечують коефіцієнт запасу 1,3 та коефіцієнт нерівномірності освітлення  $Z = 1,1$ . Кожен світильник містить дві люмінесцентні лампи типу ЛБ 40, які забезпечують розрахунковий світловий потік 3000 лм, а оптимальна відстань між світильниками становить відносну величину від 1,4 до 1,6.

Кількість світильників в приміщенні обчислюється на основі параметрів приміщення, таких як довжина, ширина та розрахункова висота, з метою досягнення оптимальної відстані між ними.

Розрахункова висота визначається по формулі:

$$H_p = H - h_c - h_p, \quad (1.1)$$

де  $H_p$  - розрахункова висота, м;

$H$  - висота приміщення, м;

$h_c$  - відстань від стелі до світлового центру світильника, м;

$h_p$  - рівень робочої поверхні над підлогою, м.

$$H_p = 5 - 1,2 = 3,8 \text{ м.}$$

Розрахункова відстань між світильниками  $L$ :

$$L = A \cdot \lambda,$$

де  $L$  - відстань між світильниками, м;

$\lambda$  - найвигідніша відносна відстань між світильниками, м.

$$L = 1,5 \cdot 3,8 = 5,2 \text{ м.}$$

Кількість світильників в ряду:

$$n_a = A/L, \quad (1.2)$$

де  $A$  - довжина приміщення,  $A = 47$  м.

$$n_a = 47 / 5,2 = 10,93,$$

Ми розміщуємо 11 світильників в ряд.

Кількість рядів світильників приймаємо рівною кількості проходів  $n_B = 1$ .

Загальна кількість світильників:

$$N = n_a \cdot n_B = 11 \cdot 1 = 14.$$

Індекс приміщення визначається за формулою:

$$i = S / H_p(A+B), \quad (1.3)$$

де  $H_p$  - розрахункова висота підвісу світильників, м;

$S$  - площа приміщення, м<sup>2</sup>;

$A$  і  $B$  - довжина і ширина приміщення, м.

$$i = \frac{507,3}{2,8 \cdot (57 + 8,9)} = 2,7$$

Значення коефіцієнта використання світлового потоку для світильника ПВЛМ 2x40 (при  $p_{\text{т}} = 30\%$ ,  $p_c = 10\%$ ,  $p_p = 10\%$  та  $i = 2,7$ )  $\eta = 50$ .

Розрахунковий світловий потік лампи визначаємо за формулою:

$$\Phi = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta}, \quad (1.4)$$

де  $\Phi$  - розрахунковий світловий потік лампи, лм;

$E$  - нормована освітленість робочої поверхні, лк;

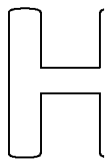
$k$  - коефіцієнт запасу;

$z$  - коефіцієнт нерівномірності освітлення;

$\eta$  - коефіцієнт використання світлового потоку;

$N$  - кількість світильників, шт.

$$\Phi = \frac{50 \cdot 1,3 \cdot 507,3 \cdot 1,1}{28 \cdot 0,50} = 2,591 \cdot 10^3 \text{ лм.}$$



Ми обираємо лампу типу ЛБ 40 зі світловим потоком  $\Phi=3000$  лм, яка є люмінесцентною.

Фактична освітленість:

$$E_{\phi} = \frac{E_n \cdot \Phi_{\phi}}{\Phi}, \quad (1.5)$$

де  $E_n$  - нормована освітленість даного приміщення, лк;

$\Phi_{\phi}$  - фактичний світловий потік вибраної лампи, лм;

$\Phi$  - розрахунковий світловий потік лампи, лм;

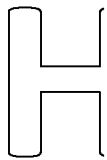
$$E_{\phi} = \frac{50 \cdot 3000}{2591} = 57.893 \text{ лк.}$$

Відхилення фактичної освітленості від нормованої визначаємо за формулою:

$$\Delta E = \frac{E_{\phi} - E}{E} \cdot 100 = \frac{57.893 - 50}{50} \cdot 100 = 15.786\%,$$

що задовольняє допустиме відхилення  $-10 \dots +20\%$ .

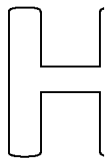
Встановлена та питома потужність :



$$P = 0,038 \cdot 28 = 1,420 \text{ кВт.}$$

де  $P_{\phi}$  - потужність лампи, кВт.

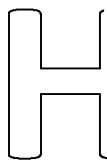
$$P_{\text{пит}} = P / S = 1,420 / 607,3 = 3,2 \text{ Вт/м}^2.$$



Ми використовуємо трифазну чотирьохпровідну мережу змінного струму для живлення освітлювальних установок. Напряга становить 380/220 В, а нейтраль заземлена.

Таблиця 1.1

### Результати розрахунків освітлення



№ приміщення	Назва	Нормована освітленість лк.	Кількість і тип світильників, кількість і потужність ламп в світильнику
--------------	-------	----------------------------	---

H	1	Приміщення для свиней	45	14ПВЛМ2х40
	2	Відділення для машин	55	2НСП01 «Астра 12» 1х150
	3	Витяжна венткамера	25	НСП01 «Астра 1» 1х100
	4	Коридор	55	4ПВЛМ 1х80
5	Гардероб	40		
H	6	Припливна венткамера	25	2НСП01 «Астра 12» 1х150
	7	Електрощитова	60	2НСП01 «Астра 1» 1х100
H	8	службове приміщення	110	ПВЛМ 1х80
	9	Приміщення для інвентарю	30	2НСП03 1х60
	10	Туалет	110	2БКВ 1х60
	11	Коридор	60	3ПВЛМ 1х80
H	12	Тамбур	25	2НСП03 1х60
	13	Душова	60	2НСП03 1х60
	14	відділення з гноєзбірною машиною	40	2НСП01 «Астра 12» 1х200
	15	допоміжне приміщення	30	НСП01 «Астра 1» 1х100

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

Автоматичні вимикачі захищають групові мережі. Для живлення освітлення використовується кабель АВВГ, який встановлюється відкрито по стінах і на нижньому поясі ферм на перфорованому профілі. Вимикачі розміщуються на висоті 1,5 м від підлоги. Аналогічні розрахунки виконуються для інших приміщень і результати заносяться в таблицю 1.1. Світильники з лампами розжарювання встановлюються в електрощитовій, венткамерах та підсобних приміщеннях. Для комутації та захисту освітлювальних мереж використовується освітлювальний щиток без ввідного автоматичного вимикача, що містить 12 однофазних груп з автоматичними вимикачами АЕ-1031 з тепловими розчіплювачами 16 А типу ЩО-32-26.

### 1.2.2. Розрахунок електричної потужності кормоприготування.

Кормоцех на свинфермах використовується для готування вологих кормових сумішей. Для функціонування цеху передбачені системи вентиляції, каналізації, очищення стічних вод та лінії обробки коренеплодів. Для створення кормових сумішей використовуються коренеплоди, концентрати, трав'яна мука, зелена маса, силос і обезжирене молоко.

Склад технологічного обладнання кормоцеху представлено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

#### Технічна характеристика комплекту обладнання кормоцеху

Машина, обладнання	Встановлена потужність, кВт
1	2
Живильник коренеплодів РОУ-6	6.5
Конвейер скребковий ТС-40,0М (5 шт.)	14.0
Мийна машина для коренебульбоплодів Г4-СВМ-35	13.0
Подрібнювач для коренебульбоплодів Т2М-СЦ2Б-12	65.0
Фекальний насос ФГ-57, 5/9.5	5.0

Продовження табл. 1.2

1	2
Змішувач С-12А (2 шт.)	26.2

Н	Змішувач С-7А	11.37
	Подрібнювач-змішувач ИСК-3 (2 шт.)	74.4
	Живильник-завантажувач ПЗМ-1.5 (2 шт.)	17.0
	Живильник-швириялка 284КМД	6.5
	Насос К20/30	5.0
Н	Дробарка КДУ-2	35.0
	Норія 1-10/10	1.3
	Змішувач для меляси СМ-1.7	6.5
	Конвейер ЛИС-3.02	2.3
Н	Конвейер АВБ-04.00.000	2.5
	Конвейер гвинтовий У1-БКВ 3225 (2 шт.)	4.7
	<b>Всього</b>	<b>389.34</b>

Крім того, для забезпечення максимальної витрати води 8,4375 м<sup>3</sup>/год протягом години 0тах.год. в кормощеху використовується електронасосний агрегат типу 13ДВ6-10-140 з продуктивністю 10 м<sup>3</sup>/год, напіром 140 м та з електродвигуном типу 9ПЗДВ-8-140 потужністю 8 кВт. У цеху знаходяться технологічні лінії для прийому та дроблення силосу, зеленої маси, коренеплодів, зернофуражу та сіна, а також для видачі сінної муки і готових кормових сумішей.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України



## РОЗДІЛ 2

### ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТВАРИННИЦЬКОЇ ФЕРМИ

#### 2.1. Електричні навантаження на вводах в приміщення

За допомогою вихідних даних про споживачів свиновідгодівельного комплексу визначаємо потужності, які необхідні для забезпечення приміщень енергією. Оскільки комплекс є виробничим споживачем, то беремо до уваги тільки денний пік споживання електроенергії. Розрахункові потужності приймаємо згідно з типовими проектами.

Таблиця 2.1

#### Розрахункові потужності споживачів господарства

№ на плані	Назва споживача	Розрахункова потужність на вводі, кВт	cosφ
1	свинарник на 1500 штук	68	0,905
2	сховище для зерна на 1000 тон	35	0,65
3	Сховище для овочів і картоплі	100	0,75
4	склад з концкормами	25	0,75
5	Цех для корму	200	0,77
6	Водонапірна башта	11	0,78

#### 2.2. Розрахунок допустимих втрат напруги

Ми використовуємо таблицю відхилень для визначення допустимих втрат напруги для споживачів на фермі, приймаючи допустимі втрати рівними + 5%. Для трансформатора з напругою 10/0,4 кВ на дошки до напруги складають 0, +2,5%, +5%, +7,5%, та +10%, а втрати складають -4% при 100% навантаженні та 1% при

25% навантаженні. На початку лінії з напругою 10 кВ, рівні напруги  $U_{100} = +5\%$  і  $U_{25} = 0$ . Ми складаємо таблицю відхилень напруги.  
(табл. 2.2).

Таблиця 2.2

### Відхилення напруги споживачів ферми

Елемент електричної мережі	режим навантаження	
	100 %	25%
шини напругою 10 кВ підстанції напругою 35/10 кВ	+4	-2
лінія напругою 10 кВ	-4,5	-1,4
трансформатор напругою 10/0,4 кВ:		
Надбавка	+6,5	+6,5
Втрати	-3	-2
лінія напругою 0,38 кВ	-6	2
відхилення напруги споживача	-4	+3,8

Ми встановлюємо, що надбавка напруги трансформатора становить +6,5%.

Таким чином, ми розраховуємо максимально допустимі втрати напруги в лініях напругою 10 і 0,38 кВ:

$$\Delta U_{100} = (+5 + 6,5 - 4 + 5)\% = 14,5\%$$

Ми розподіляємо допустимі втрати напруги відповідно до їх відсоткового відношення, яке становить 14,5%, між лініями: 4,5% для лінії напругою 10 кВ та 8% для лінії напругою 0,38 кВ. Далі, ми перевіряємо найближчого споживача ферми на можливу перенапругу в період мінімального навантаження.

$$\Delta U_{25} = (-1,7 + 6,5 - 1)\% = +3,8\% < +5\%$$

З розрахунку видно, що при проектуванні мережі напругою 0,38 кВ допустимі втрати складають 8%. Тваринницька ферма отримує живлення від трансформаторної підстанції господарства 10/0,4 кВ за допомогою трьох ліній напругою 0,38 кВ. Ми складаємо розрахункову схему відповідно до вибраних трас ліній, позначаємо на ній споживачів, їх потужність, номери ліній і розрахункових ділянок, а також довжини ділянок. Детальніше про траси ліній і дані мережі можна

дiзнатися в презентацiйній частині.



Рис. 2.1. Схема для розрахунку лiнiй напругою 0,38 кВ.

### 2.3. Вибiр проводiв лiнiї 0,38 кВ на територiї ферми

Для знаходження розрахункових навантажень окремих дiлянок лiнiї напругою 0,38 кВ, додаємо навантаження кожного споживача, що пiдключений до лiнiї, з урахуванням часу, коли навантаження досягає свого максимуму. Починаємо розрахунок з кiнця лiнiї i використовуємо метод додавок

$$P_d = P_6 + \Delta P(P_M), \quad (2.1)$$

де  $P_6$  i  $P_M$  - найбільше i менше навантаження вiдповiдно до свого максимуму, кВт;

$\Delta P(P_M)$  - добавка вiд меншого навантаження до найбільшого, кВт.

Повна потужнiсть на дiлянцi лiнiї знаходимо за формулою:

$$S = P / \cos\phi, \text{ кВ} \cdot \text{А}, \quad (2.2)$$

де  $\cos\phi$  - коефiцiєнт потужностi, приймаємо до бiльшого навантаженнi.

Еквiвалентну потужнiсть знаходимо за формулою:

$$S_e = k_{д.р.} \cdot S, \text{ кВА}, \quad (2.3)$$

де  $k_{д.р.}$  - коефiцiєнт динамiки росту навантаження, який враховує темп росту навантаження; оскiльки максимальне розрахункове навантаження набуває свого значення на 7-й рiк, приймаємо  $k_{д.р.} = 0,7$ .

Для розрахунку перерiзiв проводiв лiнiї 0,38 кВ складаємо таблицю, в якiй

враховуємо еквівалентну потужність та товщину стінки ожеледі у 10 мм. Після цього визначаємо площу перерізу проводів відповідно до значень, що містяться у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

**Розрахунок навантажень лінії 0,38 кВ**

Ділянка лінії	$P_6$ , кВт	$P_m$ , кВт	$\Delta P(P_M)$ , кВт	$P$ , кВт	$\cos\phi$	$S$ , кВт·А	$S_e$ , кВт·А	марка проводи
Л1								
5-7	9	—	—	11	0,74	10,23	7,75	АМКА 4x16
5-6	77	—	—	68	0,855	84,43	56,36	АМКА 4x70
3-5	77	9	+4,8	75,8	0,855	87,20	64,43	АМКА 4x95
3-4	77	—	—	78	0,855	76,45	61,34	АМКА 4x70
1-3	76,8	77	+43,9	109,7	0,855	156,21	112,35	АМКА 4x95
1-2	77	—	—	94,34	0,855	80,23	56,26	АМКА 4x70
0-1	119,7	77	+43,9	177,6	0,855	213,34	145,36	АМКА 4x95
Л2								
0-8	210	—	—	200	0,756	256,6	176,7	АМКА 4x70
Л3								
10-11	30	—	—	25	0,65	25,57	25	АМКА 4x25
9-10	110	30	+10,5	102,5	0,65	155,71	102,5	АМКА 4x95
0-9	122,5	30	+10,5	115	0,65	168,57	115	АМКА 4x95

Перевіримо, чи вибраний переріз проводів лінії 0,38 кВ за економічними інтервалами потужностей відповідає допустимій втраті напруги. При цьому важливо, щоб фактична втрата напруги не перевищувала допустиму до найвіддаленішої точки у мережі.

$$\Sigma \Delta U_i < \Delta U_{\text{доп.}}$$

Визначаємо фактичні втрати напруги за формулою

$$\Delta U = \left( \frac{P \cdot r}{U_H} + \frac{Q \cdot x}{U_H} \right) \cdot \frac{100}{U_H} \quad (2.4)$$

де  $P, Q$  - розрахункова активна і реактивна потужності для ділянки лінії, кВт, квар;

$U_H$  - номінальна напруга лінії, В.

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (2.5)$$

$S$  - повна потужність, що проходить по ділянці, кВт · А;

$r, x$  - активний та реактивний опори ділянки лінії, Ом;

$$r = r_0 \cdot l, x = x_0 \cdot l;$$

то,  $x_0$  - питомі активний та реактивний опори на ділянці лінії, Ом/км, питомий реактивний опір приймаємо  $x_0 = 0,35$  Ом/км;

$l$  - довжина ділянки лінії, км;

Для визначення фактичної втрати напруги до будь-якого споживача необхідно знайти суму втрат напруги на кожній послідовно з'єднаній ділянці лінії від джерела живлення.

Допустимі втрати напруги в лінії складають 8%, що більше за фактичну втрату напруги до найвіддаленішого електроприймача - 7,81%. Результати перевірки лінії на допустимі втрати напруги заносяться у таблицю 2.4.

Для перевірки проводів зовнішнього освітлення вважаємо, що навантаження дорівнює 250 Вт на приміщення і рівномірно розподілене по лінії. Потім вибираємо мінімально допустиму площу перерізу проводу для другого кліматичного району, яка відповідає механічній міцності, і перевіряємо провід на умову допустимої втрати напруги. Наступним кроком є розрахунок протяжної лінії ЛЛ з найбільшою кількістю приміщень.

НУБІП України

## Розрахунки втрат напруги в проводах лінії напругою 0,38 кВ

ділянка лінії	S, кВ· А	cosφ	S <sub>e</sub> , кВ· А	марка проводу	γ <sub>0</sub> , Ом/км	l, км	втрати напруги, %	
							наділян.	від ТП
Л1								
5-7	9,64	0,73	7,75	АМКА 4x16	1,7	0,048	0,65	7,39
5-6	84,23	0,865	56,76	АМКА 4x70	0,435	0,055	1,68	6,81
3-5	87,19	0,865	62,34	АМКА 4x95	0,35	0,068	1,47	5,43
3-4	86,23	0,865	58,62	АМКА 4x70	0,435	0,055	1,78	5,87
1-3	156,21	0,865	102,35	АМКА 4x95	0,315	0,068	2,46	4,39
1-2	93,23	0,865	57,31	АМКА 4x70	0,435	0,055	1,78	3,31
0-1	213,23	0,865	141,66	АМКА 4x95	0,35	0,028	1,34	1,45
Л2								
0-8	246,6	0,75	186,7	АМКА 4x70	0,435	0,034	2,45	2,56
Л3								
10-11	48,57	0,65	25	АМКА 4x25	1,46	0,035	0,65	5,93
9-10	130,71	0,65	102,5	АМКА 4x95	0,315	0,035	1,48	5,28
0-9	178,57	0,65	115	АМКА 4x95	0,315	0,064	5,6	5,6

Сумарна потужність для трьох приміщень знаходимо за формулою:

$$P = 3 \cdot 0,25 = 0,75 \text{ кВт.}$$

Розрахункову довжину знаходимо за формулою:

$$l = (18 + 56 + 56) / 2 = 66 \text{ м.}$$

Для другого кліматичного району вибираємо провід А16. Втрати напруги

$$\Delta U = \Delta U_{\text{пит}} \cdot P \cdot 1 \cdot 10^{-3}, \% \quad (2.6)$$

де  $\Delta U_{\text{пит}}$  - питомі втрати напруги;

для проводу А16  $\Delta U_{\text{пит}} = 6,795 \% / (\text{кВ} \cdot \text{А} \cdot \text{км})$ .

$$\Delta U = 6,795 \cdot 0,73 \cdot 64 \cdot 10^{-3} = 0,832 \%$$

Для інших ліній втрати напруги будуть менші в порівнянні з розглянутою лінією.

#### 2.4. Розрахунок номінальної потужності споживчої ТП

Для визначення номінальної потужності трансформаторної підстанції потрібно обчислити загальну потужність на шинах 0,4 кВ. Цю потужність можна знайти, додавши навантаження окремих ділянок ліній 0,38 кВ, використовуючи метод добавок:

$$P = P_0 + \Delta P(P_{mi}), \quad (2.7)$$

де  $P_0$  - потужність лінії з найбільшим значенням навантаження, кВт ;

$P_{mi}$  - потужність  $i$ -тої лінії з меншим значенням навантаження, кВт.

$$P = 190 + 119 + 87 = 396 \text{ кВт.}$$

Для вибору потужності трансформаторів споживчих ТП-10/0,4 кВ необхідно враховувати розрахункову потужність  $S_p$ , яка визначається за розрахунковим навантаженням  $P$  на шинах ТП з урахуванням коефіцієнта потужності ТП.

$$S_p = P / \cos \phi, \quad (2.8)$$

Для технічного пристрою (ТП) з напругою 10/0,4 кВ та виробничим навантаженням, коефіцієнт потужності ( $\cos \phi$ ) становить 0,76.

$$S_p = 396 / 0,76 = 502,7 \text{ кВ} \cdot \text{А,}$$

Ми вважаємо, що маємо справу з закритою трансформаторною підстанцією з напругою 10/0,4 кВ, яка включає трансформатор потужністю 630 кВА.

#### 2.5. Перевірка мережі 0,38 кВ на зниження напруги при запуску асинхронних двигунів

Під час старту асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором спостерігається збільшення струму в 4-6,5 разів, що призводить до зростання втрат напруги і зниження напруги до рівня, коли запуск цього двигуна стає неможливим, а може навіть спричинити зупинку працюючих електродвигунів на цій лінії.

# НУБІП України

$$\Delta U_{\phi} \leq \Delta U_{\text{доп}}$$

(2.9)

де  $\Delta U_{\phi}$  - фактичне відхилення напруги на вводі електродвигуна (%), визначається шляхом урахування втрат напруги в лінії електропередачі, в силовому трансформаторі підстанції, надбавки напруги трансформатора та відхилення напруги на шинах вищої напруги підстанції.:

# НУБІП України

$$\Delta U_{\phi} = \Delta U_{\text{л}} + \Delta U_{\text{гр}} + \Delta U_{\text{надб}} + \Delta U_{\text{вн}}$$

(2.10)

Дана формула використовується для розрахунку втрат напруги в лінії електропередачі.:

# НУБІП України

$$\Delta U_{\text{л}} = \Delta U + \frac{Z_{\text{л}}}{Z_{\text{л}} + Z_{\text{дв}}} \cdot 100$$

(2.11)

де  $\Delta U$  - втрата напруги в лінії електропередачі до пуску електродвигуна;

# НУБІП України

$Z_{\text{л}}$  - повний опір лінії, Ом;  $Z_{\text{дв}}$  - повний опір короткого замикання двигуна, Ом:

$$Z_{\text{л}} = (r_0 \cdot l)^2 + (x_0 \cdot l)^2$$

(2.12)

де  $r_0$ ,  $x_0$  - питомий активний і індуктивний опір провідів лінії, Ом/км;  $l$  - довжина лінії, км:

# НУБІП України



### 3.1. Розрахунок струмів короткого замикання в електричній мережі ЗТП

10/0,4 кВ

Для розрахунку струмів короткого замикання в іменованих одиницях використовуються вихідні дані.

1. Визначення активних  $R_t$ , повних  $Z_t$  і індуктивних  $X_t$  опорів силового трансформатора ЗТП:

(3.2)

а) Напруга, на якій базується система (кВ).

б) Дані про технічні характеристики силового трансформатора ЗТП:

- Номінальна потужність трансформатора (кВА).

- Втрати потужності короткого замикання в трансформаторі (кВт).

- Струм неробочого ходу трансформатора.

- Напруга короткого замикання трансформатора.

- Номінальна напруга і середні напруги ступенів електричної мережі з

точками короткого замикання.

в) Довжина ділянок лінії електропередачі з напругою 10 кВ (110, км).

г) Довжина ділянок n-тих ліній з напругою 0,38 кВ (10,38, км).

д) Опір контактів автоматичних вимикачів, багатовиткових первинних обмоток трансформаторів струму, шин розподільчих пристроїв тощо.

е) Потужність короткого замикання на шинах системи електропостачання.

є) Питомі активні та індуктивні опори проводів на ділянках лінії з напругою 10 кВ ( $r_{10}$ ,  $x_{10}$ ), Ом/км.

ж) Питомі активні та індуктивні опори проводів на ділянках лінії з напругою n-тих ліній з напругою 0,38 кВ ( $r_{0,38}$ ,  $x_{0,38}$ ), Ом/км.

з) Опір системи електропостачання, Ом.

Струми короткого замикання розраховуються на шинах з напругою 10 та 0,38

кВ ЗТП, а також в лініях електропередачі, які підключені до ЗТП.

# НУБІП України

## 3.2. Вибір електрообладнання ЗТП 10/0,4 кВ

# НУБІП України

Для того, щоб забезпечити стабільну та надійну роботу електричних апаратів, їх вибирають на основі номінальних параметрів та перевіряють на можливу дію струмів короткого замикання, яка може викликати електротермічні та динамічні перевантаження.

# НУБІП України

Електричні пристрої вибираються відповідно до заданих умов:

1. За номінальною напругою:

# НУБІП України

2. За номінальним струмом:

$$U_{н.а.} \geq U_{н.уст.} \quad (3.11)$$

$$I_{н.а.} \geq I_{роб.мах.} \quad (3.12)$$

# НУБІП України

3. Для вимикачів — за потужністю відключення

$$S_a \geq S_{к.з.} \quad (3.13)$$

# НУБІП України

4. Вибрані апарати перевіряють на електродинамічну дію струмів к.з.:

$$i_a \geq i_{уд.} \quad (3.13)$$

5. Умова для перевірки на термічну дію струмів к.з.:

# НУБІП України

$$I_{\infty}^2 \cdot t \leq I_{т.н.}^2 \cdot t$$
$$I_{\infty} = (2 \dots 3) I_{н.} \quad (3.14)$$

Роз'єднувач вибирається відповідно до рекомендацій [2]. У даному випадку використовується роз'єднувач внутрішнього розміщення РВЗ-10/400 (див. таблицю 3.2).

Таблиця 3.2

### Розрахункові і технічні дані роз'єднувача РВЗ 10/400

Розрахункові дані	Паспортні дані
$U_n = 11$ кВ	$U_n = 10$ кВ
$I_p = 21,1$ А	$I_p = 400$ А
$I_y = 1,3$ кА	$i_a = 50$ кА
$I_{\infty 2 t} = 0,9$ кА	$I_{T 2 t} = 200$ кА

Згідно з [2], під час вибору розрядників для захисту трансформаторної підстанції від атмосферних перенапруг, ми вирішили встановити РВО-10 для напруги 10 кВ та РВН-0,5 для напруги 0,38 кВ.

Таблиця 3.3

### Технічні дані розрядників типу РВО-10

Позначення	Паспортні дані
$U_n$	10 кВ
$U_{проб}$	26 кВ
$U_{доп}$	12,7 кВ

Згідно [2], ми проведемо вибір трансформаторів струму. Щоб підключити лічильник активної енергії на стороні напруги 0,38 кВ, були встановлені шість трансформаторів струму типу ТК-20.

Таблиця 3.4

### Розрахункові і технічні дані трансформаторів струму типу ТК-20

Паспортні дані	Розрахункові формули	Розрахункові дані
$U_n = 0,66$ кВ	$U_n \geq U_T$	0,6
$I_{n.i} = 5-400$ А	$I_{n.i} \geq I_p$	351,3
$S_{шт} = 5$ ВА	$S_{шт} \geq S_p$	4,7

Лічильник типу "Каскад" не перевищує номінальне навантаження вибраних

трансформаторів струму і має вторинне навантаження. Трансформатори струму з напругою до 1 кВ не перевіряються на динамічну і термічну стійкість струмам короткого замикання. Вибір вимикача навантаження залежить від напруги і струму, а також перевіряється на електродинамічну і термічну стійкість. Згідно з [2], вибрано вимикач навантаження типу ВВВ-10 з електромагнітним приводом та дугогасильними камерами КДВ.

Таблиця 3.5

**Розрахункові і паспортні дані вимикачів навантаження типу ВВВ-10**

Розрахункові дані	Паспортні дані
$U_H = 9 \text{ кВ.}$	$U_H = 10 \text{ кВ.}$
$I_H = 55 \text{ А}$	$I_H = 320 \text{ А}$
$I_{09(3)} = 1,3 \text{ кА}$	$i_{відкл} = 20 \text{ кА}$
$I_{\infty t}^2 = 0,9$	$I_{t1c} = 12 \text{ кА}$

Запобіжники вибираються з урахуванням струму відключення, номінального струму плавкої вставки та селективності захисту.

Таблиця 3.6

**Розрахункові і технічні дані запобіжників**

Каталожні дані	Розрахункові формули	Одиниці виміру	Розрахункові дані
$U_H = 10$	$U_H \geq U_p$	кВ	10
$I_{H1} = 100$	$I_{H.j} \geq I_p$	А	100

$$I_p = 22,1 \text{ А,}$$

$$I_B = (2 \dots 2) I_p = 2 \cdot 22,1 = 44,2 \text{ А,}$$

$$I_B = (2 \dots 2) I_p = 3 \cdot 22,1 = 66,3 \text{ А.}$$

Підбираємо плавку вставку для запобіжника.:

$$I_p = 44,2 \text{ А, } I_B = 50 \text{ А,}$$

$$I_p = 66,3 \text{ А, } I_B = 75 \text{ А.}$$

Згідно з [2], ми вибираємо запобіжник серії ПК-10/100. Для розподільчого

пристрою з напругою 0,4 кВ ми встановлюємо автоматичні вимикачі типу ВА5426 з розчіплювачами на 160 А, ВА5426 на 200 А, ВА5426 на 250 А і два ВА5436 на 400 А. З боку вищої напруги ми встановлюємо запобіжники типу ПКЗ 108-10 з

плавкою вставкою на 80 А. На вводі ми встановлюємо роз'єднувач Р-2315.

### 3.2. Вибір електрообладнання ЗТП 10/0,4 кВ

Для забезпечення надійності роботи електричних апаратів, їх вибирають за номінальними параметрами та перевіряють на стійкість до електротермічних і динамічних дій струмів короткого замикання.

Вибір електричних пристроїв залежить від умов, що задані.

6. За номінальною напругою:

$$U_{н.а.} \geq U_{н.уст.}, \quad (3.11)$$

За номінальним струмом:

$$I_{н.а.} \geq I_{роб. max.} \quad (3.12)$$

8. Для вимикачів за потужністю відключення

$$S_{а.} \geq S_{к.з.} \quad (3.13)$$

9. Вибрані апарати перевіряють на електродинамічну дію струмів к.з.:

$$i_{а.} \geq i_{уб.} \quad (3.13)$$

10. Умова для перевірки на термічну дію струмів к.з.:

$$I_{\infty}^2 \cdot t \leq I_{т.н.}^2 \cdot t$$

$$I_{\infty} = (2 \dots 3) I_{н.} \quad (3.14)$$

Згідно [2] вибираємо роз'єднувач, приймаючи внутрішнього розміщення типу РВЗ 10/400. Розрахункові та технічні дані заносяться в таблицю 3.2 для забезпечення правильної роботи.

Таблиця 3.2

### Розрахункові і технічні дані роз'єднувача РВЗ 10/400

Розрахункові дані	Паспортні дані
$U_H = 12 \text{ кВ}$	$U_H = 10 \text{ кВ}$
$I_p = 21,1 \text{ А}$	$I_p = 400 \text{ А}$
$I_y = 1,8 \text{ кА}$	$i_a = 50 \text{ кА}$
$I_{\infty t} = 0,7 \text{ кА}$	$I_{T2 t} = 200 \text{ кА}$

Вибір розрядників проводимо згідно [2]. Для захисту трансформаторної підстанції від атмосферних перенапруг вибираємо розрядники типу РВО-10 на стороні напруги 10 кВ, і РВН-0,5 на стороні напруги 0,38 кВ.

Таблиця 3.3

### Технічні дані розрядників типу РВО-10

Позначення	Паспортні дані
$U_H$	10 кВ
$U_{\text{проб}}$	26 кВ
$U_{\text{доп}}$	12,7 кВ

Шість трансформаторів струму типу ТК-20 встановлено для підключення лічильника активної енергії на стороні напруги 0,38 кВ відповідно до [2].

Таблиця 3.4

### Розрахункові і технічні дані трансформаторів струму типу ТК-20

Паспортні дані	Розрахункові формули	Розрахункові дані
$U_H = 0,66 \text{ кВ}$	$U_{H \geq U_T}$	0,5
$I_{H.i} = 5-400 \text{ А}$	$I_{H.i} \geq I_p$	341,7
$S_{HT} = 5 \text{ ВА}$	$S_{HT} \geq S_p$	4,7

Для вибору вимикачів навантаження, необхідно враховувати напругу та струм,

а також перевірити їх на електродинамічну та термічну стійкість. Відповідно до [2], було вибрано вимикач навантаження ВВВ-10 з електромагнітним приводом та дугогасильними камерами типу КДВ.

Таблиця 3.5

**Розрахункові і паспортні дані вимикачів навантаження типу ВВВ-10**

Розрахункові дані	Паспортні дані
$U_H = 13 \text{ кВ.}$	$U_H = 10 \text{ кВ.}$
$I_H = 45 \text{ А}$	$I_H = 320 \text{ А}$
$i_{99(3)} = 1,3 \text{ кА}$	$i_{відкл} = 20 \text{ кА}$
$I_{\infty T}^2 = 0,8$	$I_{tlc} = 12 \text{ кА}$

Для вибору запобіжників враховуються критерії струму відключення, номінального струму плавкої вставки та селективності захисту.

Таблиця 3.6

**Розрахункові і технічні дані запобіжників**

Каталожні дані	Розрахункові формули	Одиниці виміру	Розрахункові дані
$U_H = 10$	$U_H \geq U_p$	кВ	10
$I_{H1} = 100$	$I_{H.i.} \geq I_p$	А	100

$I_p = 22,1 \text{ А,}$

$I_B = (2...2)I_p = 2 \cdot 22,1 = 44,2 \text{ А,}$

$I_B = (2...2)I_p = 3 \cdot 22,1 = 66,3 \text{ А.}$

Ми обираємо плавку вставку для захисного пристрою:

$I_B = 44,2 \text{ А, } I_B = 50 \text{ А,}$

$I_B = 66,3 \text{ А, } I_B = 75 \text{ А.}$

Згідно [2], ми обираємо запобіжники серії ПК-10/100. Для розподільчого пристрою з напругою 0,4 кВ, ми встановлюємо автоматичні вимикачі типу ВА3726

з розчіплювачами на 160 А, ВА3726 на 200 А, ВА3726 на 250 А і два ВА3736 на 400 А. На більш високій напрузі, ми встановлюємо запобіжники типу ПКЗ 108-10

з плавкою вставкою на 80 А. Роз'єднувач Р-2315 встановлюється на вхідному апараті.

### 3.3. Обґрунтування заміни старих ПЛ 0,38кВ на ПЛ з самонесучими проводами АМКА

#### 3.3.1 Область використання, та переваги самонесучих ізольованих проводів АМКА

Самонесучі ізольовані проводи АМКА призначені для встановлення повітряних ліній електропередачі з напругою до 1 кВ. Вони можуть бути підвішені на опорах або закріплені на фасадах будинків і спорудах. Ці проводи рекомендовано використовувати у всіх кліматичних районах, включаючи вітряні та ожеледівні умови, за температурного діапазону від -45 до +50 градусів Цельсія.

При спорудженні ПЛ з спільною підвіскою проводів радіомовлення і телефонних ліній можна використовувати СП АМКА. Порівняно з традиційними повітряними лініями електропередач з неізольованими проводами, ізольовані повітряні лінії 0,38 кВ системи АМКА мають кілька переваг:

- Неможливість вирубки просік при спорудженні ПЛ.

- Можливість використання існуючих опор або менших опор на нових ПЛ.

- Зменшення експлуатаційних витрат завдяки уникненню систематичного очищення траси, заміни пошкоджених ізоляторів та зменшення обсягу аварійно-відновлювальних робіт.

- Мінімізація короткого замикання між фазами або землею.

- Підвищення надійності в умовах інтенсивної утворення ожеледі, зменшення



ваги та накладання снігу та ожеледі.

- Забезпечення безпеки при роботі поблизу ПЛП 0,38 кВ системи АМКА.

- Зниження втрат напруги завдяки низькому реактивному опору (0,1 Ом/км порівняно з 0,35 Ом/км для неізольованих проводів).

- Спрощення проведення ремонтів та підключення відгалужень до будинків та споруд.

### 3.3.2. Конструкційне виконання СІП АМКА.

Проводи АМКА зазвичай мають несучий нульовий провід, навколо якого спірально обернуті три ізольовані фазні проводи, а також ізольовані проводи для зовнішнього освітлення та контролю. Це є стандартом для проводів АМКА, незалежно від їх призначення, кількості та розміру фазних проводів.

Таблиця 3.7

### Основні конструктивні параметри СІП АМКА

Кількість проводів і номінальний переріз, мм <sup>2</sup>	Ефективний діаметр джгута для розрахунку вітрових навантажень, мм	Вага джгута, кг/км	Руйнівне навантаження нульового проводу, кВ
1·16+25	13	135	6.4
3·16+25	22	260	6.4
3·25+35	24	380	11.3
3·35+50	26	520	13.5
3·50+70	28	690	19.3
3·70+95	33	985	25.7
3·120+95	41	1485	25.7
4·16+25	25	315	6.4
4·25+35	23	465	11.3

В проводах АМКА, за винятком несучого нульового проводу, всі проводники мають ізольовану оболонку з атмосферостійкого поліетилену з повздовжніми зв'язками, яка містить газову сажу для забезпечення довгого терміну експлуатації. Жили фазних проводів зроблені з алюмінію, а жила несучого проводу - з

алюмінієвого сплаву.

Маркування проводів АМКА здійснюється шляхом розміщення по всій довжині ізоляції проводів поздовжніх виступаючих гребенів. Фазні проводи мають 2, 3 або 4 паралельно розташованих гребенів. Жили фазних проводів - багатодотові, складаються з 7-19 алюмінієвих дровів, а жила несучого нульового проводу складається з 7 дровів.

Таблиця 3.8

**Основні електричні характеристики СП АМКА**

Кількість і переріз проводів фаз + нульового проводу, мм <sup>2</sup>	Опір постійному струму, Ом/км				Реактивний опір, Ом/км		Струм встановленого режиму, Т=25 А	Струм термічний (односекундний), КА при T=70
	провід фази		нульовий провід		провід фази	нульовий провід		
	при +20	при +70	при +20	при +70				
1-16+25	1.85	2.35	1.45	1.56	0.085	0.064	70	1.08
3-16+25	1.85	2.35	1.45	1.56	0.121	0.064	65	1.13
3-25+35	1.30	1.46	0.978	1.34	0.115	0.063	85	1.65
3-35+50	0.878	1.07	0.726	0.856	0.111	0.063	105	2.45
3-50+70	0.653	0.68	0.476	0.568	0.123	0.061	130	3.35
3-70+95	0.453	0.525	0.358	0.435	0.087	0.060	165	4.20
3-120+95	0.353	0.345	0.356	0.437	0.081	0.068	230	6.20
4-16+25	1.85	2.34	1.46	1.56	0.117	0.064	75	1.14
4-25+35	1.30	1.46	0.978	1.48	0.115	0.063	80	1.58

Система СП АМКА має такі характеристики:

- Висока стійкість до ультрафіолетового випромінювання.
- Стійкість до впливу озону.
- Збереження механічної міцності і електричних властивостей при температурі від -45 до +85 градусів Цельсія.

- Стійкість до негоди та погодних умов.

- Вологонепроникність.

- Максимально допустиме руйнівне механічне навантаження для алюмінієвого струмоведучого проводу складає 120 Н/мм<sup>2</sup>, а для несучого нульового проводу - 294 Н/мм<sup>2</sup>.

Таблиця 3.9

### Максимальний тривалий струм, який допускається для навантаження проводів

Кількість жил фазних проводів x їх переріз + переріз жили несучого нульового проводу, шт/мм <sup>2</sup>	Максимально допустимий тривалий струм завантаження А	Струм плавкої вставки для захисту від перевантаження А	Час нагрівання і охолодження СП, хв
1·16+25	65	62	6
3·16+25	65	54	11
3·25+35	85	61	13
3·35+50	105	70	15
3·50+70	135	110	17
3·70+95	170	135	19
3·120+95	235	210	21

Також існують проводи СП з п'ятьма жилами, які використовуються лише для мереж дорожнього та вуличного освітлення. Три з цих жил є струмопровідними фазними проводами з перерізом, вказаним у таблицях, та призначені для з'єднання світильників зовнішнього освітлення. Четверта жила є несучим нульовим проводом, а п'ята - фазним проводом з перерізом 16-25 мм<sup>2</sup>, призначеним для контролю вуличного освітлення. Ізоляція п'ятої жилі не містить повздовжніх гребенів. Ці п'ятижильні проводи СП можуть також використовуватися на комунальних лініях електропостачання, які живлять комунально-побутових споживачів електроенергії, а також для вуличного освітлення, якщо відповідні електричні розрахунки підтверджують можливість використання цих проводів та

забезпечують необхідний рівень якості електроенергії для споживачів. Рисунки 3.1 та 3.2 показують допустимі струми навантаження та нагрівання провідів СІП марки АМКА в залежності від струму навантаження.

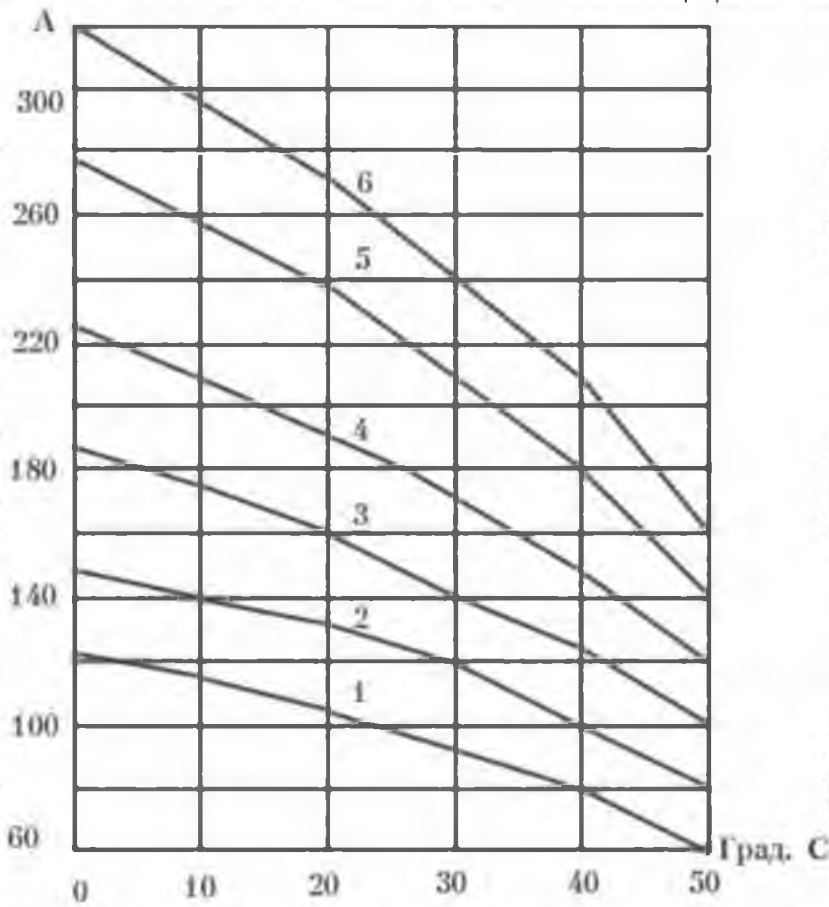


Рис.3.1. Допустимі струми навантаження за тривалістю.

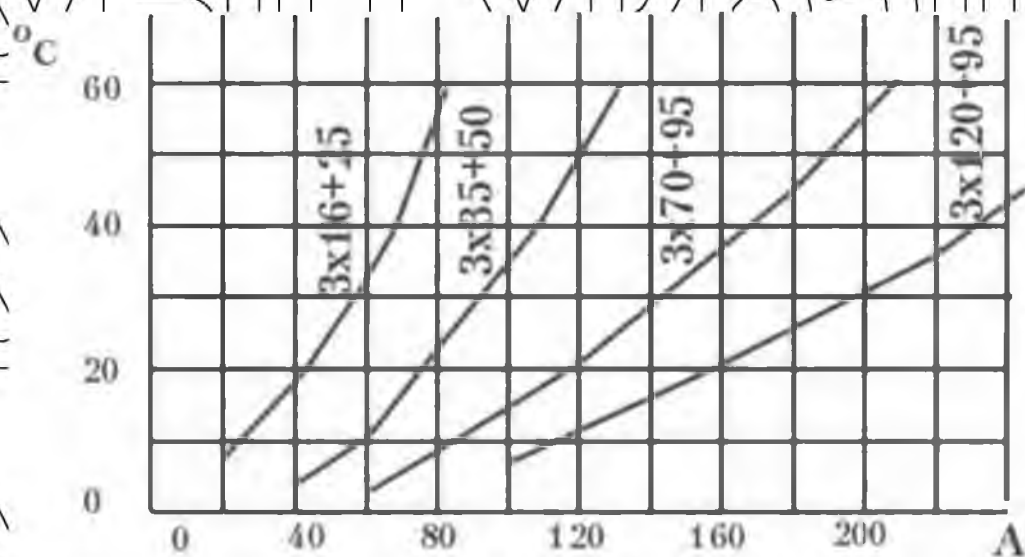


Рис.3.2. Нагрів СІП АМКА в залежності від струмів навантаження

### 3.3.3. Арматура для монтажу і ремонту СП АМКА.

СП АМКА має арматуру, яка складається з різних типів затискачів та інших компонентів для кріплення та з'єднання проводів на магістральних ділянках та відгалуженнях. Кріплення проводів потрібно робити за допомогою підтримуючих затискачів, анкерних затискачів та з'єднувальних затискачів. На опорах стель будинків і споруд необхідно встановлювати кронштейни і гаки для підтримки затискачів. Під час монтажу необхідно використовувати захисні накладки, бандажні стрічки та захисні ковпачки, щоб захистити проводи від пошкоджень та забезпечити безпеку під час робіт.

Захисні елементи, такі як накладки, стрічки та ковпаки, мають бути створені з полімерного ізоляційного матеріалу, який має світлостабілізуючі властивості. Для кріплення нульового проводу на проміжних опорах та кутових проміжних опорах ПЛІ використовують підтримуючі затискачі SO 14.1, а для анкерного кріплення нульового проводу СП на опорах анкерного типу та кінцевого кріплення СП відгалужень до вводу в будинок використовують натяжні затискачі типу SO і SN. Контактна арматура встановлюється на з'єднаннях і відгалуженнях без зняття ізоляції фазних проводів СП. Щоб захистити від корозії та можливого контакту зі струмоведучими частинами, на кожен з затискачів встановлюють захисні футляри з атмосферостійкої пластмаси, які не пошкоджують ізоляційну поверхню фазних проводів.

### 3.3.4. Рекомендації по монтажу самонесучих ізольованих проводів АМКА.

Для монтажу самонесучих ізольованих проводів АМКА необхідно виконати попередні роботи, такі як підготовка траси, монтаж опор, захист на переходах і встановлення арматури. Під час монтажу використовуються лінійна арматура, механізація, обладнання і монтажні інструменти. Робота проводиться при температурі не нижче -20 за участю 5-членної бригади, яка користується бригадною машиною і медичною аптечкою для розвезення обладнання і інструментів по трасі.

Технологія розкочування СП включає такі етапи робіт:

- зняття оболонки з барабана,

- встановлення барабана з СПП на розкочувальний пристрій;
- встановлення механізму для розкочування СПП на анкерній опорі;
- розкочування троса-лідера з одночасною підвіскою на монтажних роликів на опорах.

Перед початком робіт по розкочуванні СПП необхідно підготувати площадку на відстані 10-15 м від анкерної опори, встановити на ній розкочувальний пристрій та забезпечити його надійне закріплення. Також потрібно доставити барабан з СПП до розкочувального пристрою, підготувати комплект розкочувальних роликів та намотати металевий трос-лідер з бухти. Кількість розкочувальних роликів та їх склад залежать від числа проміжних та анкерних опор у прольоті.

Бригада розбивається на дві групи, які працюють паралельно. Перша група готує барабан з СПП для розкочування, а друга група закріплює механізм для розкочування СПП на опорі та виконує розгортання троса-лідера з підвішуванням монтажних роликів та кріплень на опорах ПЛІ. Зовнішня обшивка, що захищає СПП під час перевезення, видалається. Перед встановленням барабана на розкочувальний пристрій, поверхня барабана повинна бути повністю очищена від гострих речей та проведений огляд зовнішніх витків проводу. Барабан встановлюється на розкочувальний пристрій лебідкою на рамі колесно-кабельного

транспортера, після чого з нього змотують СПП. На анкерній опорі встановлюється спеціальна рама, яку закріплюють стяжками, що дозволяють регулювати довжину кріплення залежно від розмірів конструкції.

Прокладання троса з роликів та затискачами відбувається поступово при русі вздовж анкерного прольоту від механізму розкочування до барабана з СПП. Після перевірки готовності до розкочування, запускається двигун розкочувального механізму, і процес триває до того моменту, коли весь трос змотується на котушку розкочувального механізму, а з'єднання троса з монтажним чулком наблизиться до котушки. Розкочування повинно відбуватися без тертя СПП по землі, металевих або бетонних елементах опор, і не повинно перевищувати швидкість 5 км/год.

Під час встановлення СПП АМКА в анкерному прольоті проводять такі дії: спочатку закріплюють СПП на першій анкерній опорі за допомогою анкерного

затискача, потім натягують і закріплюють його на другій анкерній опорі, а також закріплюють на проміжних опорах. При монтажі відгалужень до вводу в будинки спочатку розкочовують СІП відгалужень, встановлюють анкерний затискач і закріплюють СІП на опорі та будинку. Монтаж відгалужень від СІП магістралі до вводів в будинки виконують вручну, зачищаючи місце встановлення анкерного затискача на проводі і покриваючи його змазкою. Потім встановлюють анкерний затискач, натягують провід на опору та навіщують анкерний затискач на гак опори. Далі натягують провід відгалуження до крюка, відмічають на ньому місце кріплення другого анкерного затискача, вимірюють відстань від крюка до місця з'єднання проводів відгалужень з внутрішньою проводкою, відрізають провід від бухти, зачищають місце встановлення анкерного затискача, встановлюють його і закріплюють на стелі будинку. На СІП накладають поліетиленові бандажі з обох сторін анкерного затискача.

3.3.5. Висновки про використання самонесучих ізольованих проводів АМКА.

Після аналізу конструкції, призначення, монтажу, експлуатації та нормативної технічної документації для проектування і будівництва дослідно-виробничих повітряних ліній напругою 0,38 кВ з самонесучими проводами АМКА, ми прийшли до висновку, що ці проводи підходять для нашої електричної мережі з усіх погодних та технічних параметрів.

Проект будівництва повітряних ліній передбачає використання залізобетонних опор згідно з проектом "Залізобетонні опори ПЛІ 0,38 кВ з ізольованими проводами" (на базі існуючих залізобетонних опор). Розташування опор анкерного типу на маршруті лінії, їх тип, а також кількість і тип проміжних опор на кожному відрізку лінії, передбачені програмою.

## РОЗДІЛ 4

# ПІСЛЯАВАРІЙНЕ ЖИВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІВ ВІД ДИЗЕЛЬНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

### 4.1. Обґрунтування параметрів ДЕС

#### 4.1.1. Вибір потужності генератора ДЕС.

Малопотужні дизельні електростанції зазвичай використовуються для забезпечення резервного живлення. При навіть невеликих змінах у навантаженні споживачів електроенергії, оберти двигунів можуть змінюватись. При виборі дизельної електростанції необхідно детально вивчити характеристики споживачів електроенергії, які потребують резервного живлення. В нашому випадку, цими споживачами є пташники, насосні станції та котельня. Розрахунок потужності дизельних електростанцій проводиться з урахуванням обмеження споживаної потужності пташників на 50% у післяаварійному режимі роботи електромережі.

Для забезпечення електропостачання котельні та насосній станції також необхідно мати резервне живлення.

При виборі дизельних електростанцій важливо враховувати, що рекомендується їх експлуатувати з навантаженням не менше 60-70% від номінальної потужності. Якщо це неможливо, то до електростанції можна підключити пасивне навантаження в період недовантаження. В іншому випадку дизельний двигун працюватиме з великим недовантаженням, що негативно впливатиме на його роботу.

Махові маси дизельних електроагрегатів можуть компенсувати різницю між споживаною і виробленою енергією тільки на короткий проміжок часу. Зміна числа обертів призводить до значних змін частоти струму і напруги генератора, що може бути неприйнятним для багатьох споживачів.

Щоб забезпечити необхідний рівень обертів валу двигуна, потрібно постійно регулювати подачу палива, щоб збалансувати рівень споживаної та виробленої енергії. Зміна частоти струму не повинна перевищувати  $\pm 10\%$  номінального значення при різкій зміні навантаження. Результатом розрахунку є вибір двох автоматизованих дизельних електростанцій потужністю 100 кВт кожна. Кожна з



них може резервувати електропостачання з навантаженням не більше 97,8 кВт (2,2 кВт використовується для вентиляції приміщення АДЕС). Елементи власних потреб АДЕС, які мають короткочасне вмикання з перевантаженням дизель-генератора на протязі 1 години на 10%, не включаються до розрахунку резервованого навантаження. Кожна АДЕС має один дизель-електричний агрегат типу АСДА-100Т/400-3Р з номінальною потужністю 100 кВт.

#### 4.2. Вибір і перевірка струмопроводів на електродинамічну і термічну стійкість

Розмір поперечного перерізу шин для дизельної електростанції визначається на основі значення струму знаходимо за формулою:

$$I_{роз.мах} = \frac{1,4 \cdot 207,3}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 209,6 \text{ A}$$

Шини обираються з урахуванням термічного навантаження при тривалій роботі.

Вибираємо шини прямокутної форми розміром 30x5.

$$I_{доп} \geq I_{роз.мах}$$

$$365,4 \geq 209,6 \text{ A}$$

Проводимо перевірку шин на їх термічну та динамічну стійкість і обчислюємо мінімально допустимий поперечний переріз шин:

$$F_{\min} = \frac{1}{c} \sqrt{B_k}, \text{ мм}^2 \quad (4.13)$$

де  $B_k$  – тепловий імпульс;

$$B_k = I_{k3}^{(3)2} (t_{\text{вим.пр.}} + T_a), \quad c = 88; \quad (4.14)$$

де  $I_{k3}^{(3)}$  – струм к.з. трифазний для точки к1  
 $t_{\text{вим.пр.}}$  – приведений час вимикання к.з. ( $t_{\text{вим.пр.}} = 34 \text{ с}$ )  
 $T_a = 0,185 \text{ с}$  – постійна часу, періодичної складової к.з.

$$B_k = 5,906^2 (34 + 0,185) = 125,0$$

Тоді

$$F_{\min} = \frac{1}{88} \sqrt{125} = 0,127, \text{ мм}^2$$

$$F_{\min} \leq F_{\text{станд}}$$

$$0,127 \text{ мм}^2 \leq 50 \text{ мм}^2$$

Перевірка механічної міцності шин на динамічну стійкість проводиться з метою оцінки їх здатності витримувати електродинамічні зусилля, які виникають

при к.з. між шинами. Допустиме напруження  $G_{доп}$  становить 70 МПа.

НУБІП УКРАЇНИ

$$G_{гр} < G_{доп}$$

Для визначення значення  $G_{гр}$  необхідно обчислити питому електродинамічну

НУБІП УКРАЇНИ

силу.

НУБІП УКРАЇНИ

$$f = \sqrt{3} \cdot 10^{-3} \cdot k_{гр} \cdot \frac{i_a^2}{a}, Н$$

де  $k_{гр} = -1$ ;

$a \gg 2(b+h)$ ;

НУБІП УКРАЇНИ

де  $a$  – відстань між шинами ( $a = 0,4 - 0,6 м$ );

$b$  – ширина шини, м;

$h$  – товщина шини, м;

НУБІП УКРАЇНИ

$0,4 \gg 0,132$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{кз}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,6 \cdot 5,906 = 13,3 кА$$

НУБІП УКРАЇНИ

$$f = \sqrt{3} \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot \frac{13,3^2}{0,4} = 0,765 Н$$

У цьому випадку розглядається можливість розташування шин у горизонтальному положенні.

НУБІП УКРАЇНИ

$$G_{до} = \frac{M}{W} \quad (4.15)$$

де  $M$  – момент який створюється електродинамічною силою.

$W$  – момент опору.

$$G_{зр} = 0,6 \frac{f l^2}{b h} \quad (4.16)$$

де  $l$  – відстань між опорними ізоляторами.  
 $l = 1,5 м$

$$G_{зр} = 0,6 \frac{0,765 \cdot 1 \cdot 5^2}{0,5 \cdot 0,05} = 41,3 \text{ мПа}$$

Таким чином

$$44,3 \text{ мПа} > 65 \text{ мПа.}$$

Таким чином, шини відповідають всім критеріям вибору і можуть бути

затверджені для монтажу.

### 4.3. Технічні характеристики дизельної електростанції

Зовнішнє джерело живлення забезпечує 6,5 кВт власних потреб станцій живлення. Згідно з ТУ-24-6-369-71, агрегат працює безперебійно в приміщенні з температурою зовнішнього повітря від +80С до +500С, і має нас нероблугуваної роботи 200 годин. Автоматичне підтримання агрегата у програмному стані здійснюється за допомогою підігріву води та масла.

Автоматична система дизель-електричного агрегату забезпечує виконання різних функцій, таких як автоматичний або дистанційний пуск за зовнішнім імпульсом, передпускові операції, підготовку до навантаження та автоматичний

прийом навантаження. Агрегат також може бути автоматично або дистанційно зупинений за зовнішнім імпульсом. Час, необхідний для прийняття програмним агрегатом навантаження при першій спробі пуску, не перевищує 20 секунд.

Таблиця 4.1

### Основні технічні дані агрегату

Основні дані	Характеристика
Номінальна потужність, <i>кВт</i>	110
Номінальне число обертів, <i>об/хв</i>	1600
Вид струму	трьохфазний, змінний
Частота, <i>Гц</i>	50
Напруга, <i>В</i>	380
Сила струму при $\cos j = 0,8$ , <i>А</i>	170
ККД	0,865
Електроживлення системи автоматики	від акумулятора
Годинна витрата палива, <i>кг/год</i>	не більше 30
Годинна витрата мастила, <i>кг/год</i>	не більше 0,35

Система аварійної сигналізації та захисту працює згідно з такими параметрами:

- температура охолоджуючої рідини на виході з дизеля вище  $+105^{\circ}\text{C}$ ;
- тиск масла в системі мащення дизеля менше  $18 \text{ кг/см}^2$ ;
- швидкість обертання колінчастого валу нижче  $1700 \text{ об/хв}$ ;
- зниження рівня води в системі охолодження нижче допустимого;
- перевантаження генератора;
- відсутність напруги на клеммах генератора;
- відсутність напруги в колах керування щитів автоматики;
- неуспішний запуск.

Для забезпечення витрат палива в приміщенні АДЕС використовується

система з баком об'ємом 400 л, яка комплектується з дизель-генератором. Автоматичне перекачування палива відбувається за допомогою вихрового насоса з електродвигуном типу ВКС-М16А. Освітлення в приміщенні забезпечується світильниками з лампами розжарення.

Дизельний агрегат автоматизований згідно з ГОСТ 10032-83 на III рівні автоматизації.

Система керування електроагрегатом включає апаратуру та прилади для ручного та автоматичного керування, контролю роботи агрегату, захисту та аварійної сигналізації, а також можливість резервування зовнішнього джерела.

Система керування складається з двох щитів керування (ЩДГА і ЩАВ) та розподільчої коробки дизеля. Система автоматики щитів керування базується на логічних та функціональних елементах. Електричні кола автоматики та

електростартер дизель-генератора живляться від 24-вольтових акумуляторних батарей, які заряджаються автоматично ВУТ-31/65 УХЛ. Проект містить схему головних електричних з'єднань станції. Комутація між дизельною електростанцією та зовнішнім джерелом електропостачання здійснюється на струморозподільному щиті споживача, що в проекті визначається як КУ-76 5 УХЛ4 та комплектується з АДЕС.

Зовнішнє джерело електропостачання та дизель-генератор підключаються до однієї секції шин РУС 8105 03804-54У5. Комутація силових кіл другої дизельної електростанції виконана аналогічно. Для автоматичної зупинки дизель-генератора при появі напруги в зовнішній мережі використовується сигнал з клеми 708.

#### 4.4. Підвищення електробезпеки обслуговуючого персоналу ДЕС

Електроустановки, що використовуються в сільському господарстві, зазвичай працюють в режимі заземленої нейтралі. У випадку замикання на заземлені частини, мережа повинна автоматично відключитись з мінімальним часом. Електропристрої повинні відповідати безпековим вимогам, які полягають у виключенні випадкового дотику до струмоведучих частин під напругою, унеможливленні появи небезпечної напруги на елементах, які не повинні бути під напругою, у запобіганні отруєнню токсичними газами та кислотами, у захисті від механічного пошкодження та виникнення пожежі. Крім того, електроустановки повинні бути надійними та зручними у обслуговуванні. Контроль ізоляції є важливим елементом забезпечення електробезпеки, оскільки допомагає виявляти зниження опору ізоляції відносно землі та попереджати про можливі аварійні ситуації.

У даному випадку використовується пристрій контролю ізоляції (ПКІ), який постійно моніторить стан ізоляції дизельної електростанції. ПКІ вимірює опір ізоляції всієї електростанції відносно землі, опір споживачів електроенергії, що живляться від електростанції, та переносних кабельних мереж. Прилад працює за принципом накладання оперативного постійного струму на змінний, використовуючи величину постійного струму, що протікає через вимірювальний пристрій, який залежить від напруги джерела постійного струму та загального опору всіх фаз електростанції відносно землі. Прилад градується в одиницях виміру опору в МОм (або КОм), а повне відхилення стрілки відповідає глухому однополюсному замиканню на землю або корпус. Оперативний постійний струм отримується шляхом випрямлення струму контрольованої станції за допомогою трифазного дроселя та напівпровідникового випрямляча, і має стабільність, що дорівнює 2-3% номінального значення.

Цей прилад дозволяє контролювати стан електричної ізоляції станції відносно землі протягом усього часу її роботи і відображає цей стан в кілоомметрах. Крім того, якщо опір ізоляції стане меншим за допустимий рівень, прилад видасть

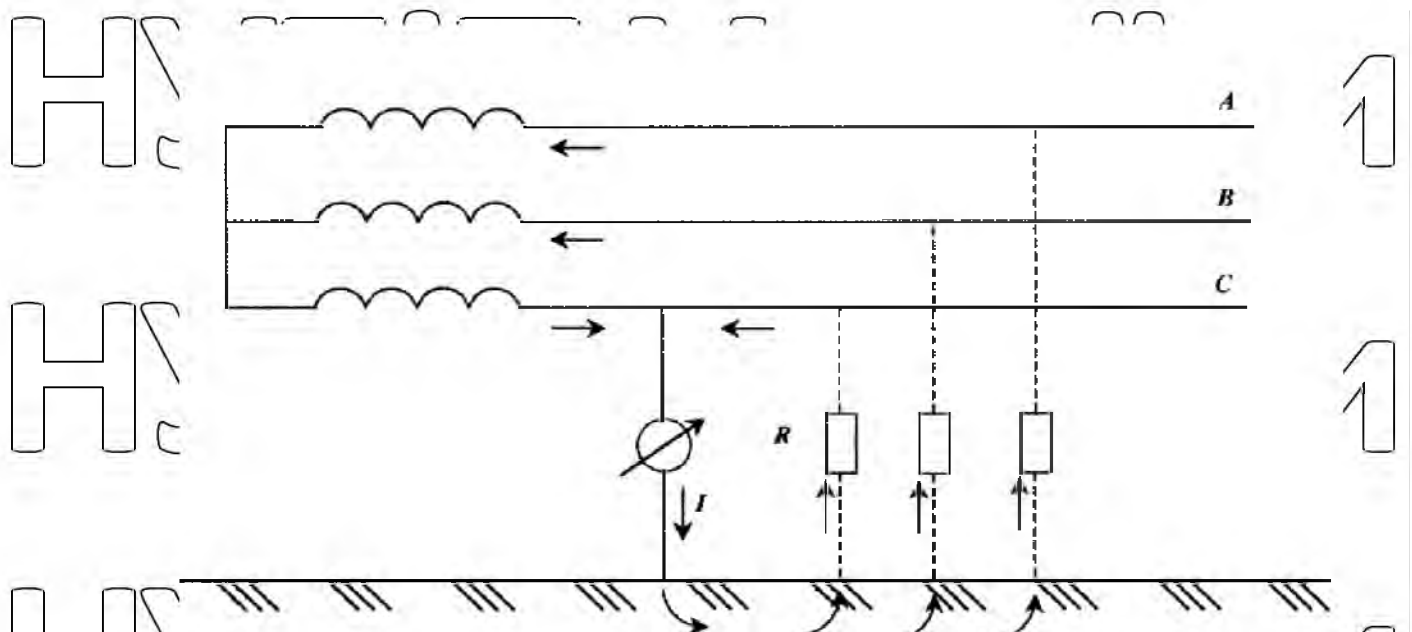
світловий сигнал. Основними компонентами цього приладу є кілоомметр, кнопка "Перевірка" та сигнальна лампа. Кілоомметр - це електровимірний прилад магнітоелектричної системи, який має відносну похибку не більше 10% при номінальному напрузі та трьохфазному симетричному витоку. Для перевірки роботи приладу використовується кнопка "Перевірка", яка генерує штучний витік струму. Якщо прилад працює правильно, то сигнальна лампа видасть світловий сигнал.

Заземлювальний пристрій ПКІ повинен мати опір розтікання не більше 700 Ом. При нормальному стані ізоляції пристрій не спрацьовує, оскільки постійний струм, що проходить через реле К, не є достатнім для його спрацьовування. Однак, якщо ізоляція стає пошкодженою або коли людина торкається струмопровідних частин станції, то постійний струм збільшується і, при досягненні критичного значення опору ізоляції, реле спрацьовує. Коли реле спрацьовує, нормально розімкнені контакти замикаються, і це активує живлення сигнальної лампи. Це попереджає електротехнічний персонал про необхідність ремонту пошкодженої ізоляції. Пошкодження можна знайти, відключаючи по одному кожен споживач, що контролюється приладом. Якщо опір ізоляції вимірюється мегаомметром напругою 500 або 6000 В, то клему 3 приладу потрібно від'єднати від корпусу агрегата.

Після виправлення пошкоджень ізоляції на ділянці, яка не відповідає вимогам ПУЕ, сигнал про аварійний стан ізоляції вимикається. Якщо сигнал не вимикається після натискання кнопки "Перевірка", то це свідчить про те, що опір ізоляції залишається нижче критичної величини і пошкодження ще не усунено. У процесі роботи установки можуть виникати помилкові ввімкнення сигналу про аварійний стан ізоляції внаслідок відхилень напруги живлення від номінальної, але це не завжди означає пошкодження ізоляції. Для визначення стану ізоляції слід користуватися показаннями омметра після досягнення сталого режиму роботи агрегата при номінальній напрузі, а для вимкнення сигналу про аварійний стан ізоляції слід натиснути кнопку "Перевірка".

Рис. 4.2. Принципова схема вимірювання опору ізоляції полягає в застосуванні





методу накладання постійного струму на змінний струм.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## 5.1. Вибір потужності і кількості ВЕУ

### 5.1.1. Розрахунок електричного навантаження проєктованого об'єкту.

Проведемо обчислення загального навантаження:

$$P = (P_1 + P_3 + P_5 + P_7 + P_8 + P_{10}) \cdot 0,9 = 192 + 57 + 20 + 9 + 47 + 26 = 315,9 \text{ кВт.}$$

де  $P$  - потужність, споживана приймачами, кВт.

Для забезпечення електропостачання селища використовуються два джерела енергії: дизельна електростанція і вітроенергетична установка, які функціонують паралельно. При відсутності вітру використовується дизельна електростанція, а коли швидкість вітру досягає 8 м/с або більше, дизельна електростанція вимикається, а виробництво енергії здійснюється за допомогою вітроенергетичної установки.

### 5.1.2. Вітроенергетичний розрахунок.

Для оцінки потенційного виробництва електроенергії в певній локації необхідно мати інформацію про розподіл швидкості вітру за різними градаціями. З огляду на те, що швидкість вітру змінюється з часом, потрібно мати достовірні дані про повторюваність і для цього необхідно здійснювати спостереження не менше 10 років за допомогою флюгеру або анеморумбометра. Недоліком наземних спостережень є те, що вони залежать від захищеності метеостанції, тому важливо використовувати дані радіозондажних вимірів на різних висотах нижнього шару атмосфери, які дають більш репрезентативну картину вітрового режиму в тій локації. Це дозволяє отримувати дані про швидкість вітру на висотах, де вплив рельєфу та інших факторів на поверхні землі є менш значущим.

### Технічні дані ВЕУ

Марка	ВЕУ-150	ВЕУ-250
Мінімальна потужність	150 кВт	250 кВт
Кількість лопатей	3 проти вітру	3 проти вітру
Висота осі	35 м	54 м
Мінімальна швидкість вітру для роботи	3 м/с	4 м/с
Максимальна швидкість вітру для роботи	23 м/с	23 м/с

Таблиця 5.2

### Залежності потужності ВЕУ від швидкості вітру

м/с	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	кВт	кВт	кВт	кВт	кВт	кВт	кВт	кВт	кВт	кВт	кВт	кВт
ВЕУ-150	0	2,7	12,8	31,3	47,6	72,8	91,7	114,3	134,8	145,8	168,2	170,0
ВЕУ-250	5	6	11	23	46	71	106	135	155	215	235	245
м/с	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
ВЕУ-150	158,4	156,1	157,4	164,8	165,0	165,0	165,0	165,0	165,0	165,0	165,0	165,0
ВЕУ-250	270	265	235	210	180	175	186	177	180	185	195	

Для визначення очікуваного виробництва енергії ВЕУ в конкретному місці, потрібно знати середню швидкість вітру на висоті осі ветрогенератора. Оскільки спостереження проводяться на рівні флюгера, потрібно врахувати зменшення швидкості вітру зі зростанням висоти і з урахуванням рельєфу та кліматичних умов місцевості. Застосовуючи статичний закон вітру, можна розрахувати середню швидкість вітру на висоті осі ветроколеса. Середня річна швидкість вітру приймається як постійна величина для даного місця, та знаходимо за формулою:

$$U_{\text{оси}} = U_{\text{флюг}} \cdot \left( \frac{H_{\text{оси}}}{H_{\text{ф}}} \right)^m, \quad (5.1)$$

де  $U_{\text{флюг}} = 8,7$  м/с - середньорічна швидкість на висоті флюгера;

$H_{\text{оси}}$  – висота осі вітроустановки;

$H_{\text{ф}} = 11$  м – висота флюгера;

$m = 0,2$  – сезонний показник.

ВЕУ-150

$$U_{\text{оси}} = 8,7 \cdot \left( \frac{32}{11} \right)^{0,2} = 8,733 \text{ м/с}$$

Середньоквадратичне відхилення швидкості знаходимо за формулою:

$$\sigma = 0,5 \cdot U_{\text{оси}} = 0,5 \cdot 8,733 = 4,767$$

ВЕУ-250

$$U_{\text{оси}} = 8,7 \cdot \left( \frac{56}{11} \right)^{0,2} = 11,332 \text{ м/с}$$

Середньоквадратичне відхилення швидкості знаходимо за формулою:

$$\sigma = 0,5 \cdot U_{\text{оси}} = 0,5 \cdot 10,882 = 5,441$$

Проведемо розрахунок річного виробництва електроенергії ВЕУ-150.

Таблиця 5.3

### Визначення річного вироблення електроенергії ВЕУ-150

$U_i$	$U_{i\text{оси}}$	$Z_i$	$\sigma \cdot f(u)$	$f(U_0)$	$T_i$	$W_{\text{годВЕУ1}}$	$P_i$
1	2	3	4	5	6	7	8
0	8,733			0,00738	52,32479		
		-1,5	0,25	4	5		0
1	8,733			0,00589			
		-1,5463	0,035	2	65,67306	0	0
2	8,733			0,03557	206,2309		
		-1,6104	0,11	8	1	0	0
3	8,733			0,05466	358,7553	0	0
		-1,47061	0,2				

Продовження табл. 5.3

4	8,733			0,06383				
		-1,18081	0,32		6	577,1448	1434,4508	2,7
5	8,733			0,06671		747,5678		
		-0,84101	0,41		7	6	10086,029	11,4
6	8,733			0,08351		795,6353		
		-0,67421	0,43		3	9	24043,078	28,4
7	9,533			0,08381		745,6588		
		-0,55642	0,41		7	6	37267,987	46,5
8	8,733			0,07752				
		-0,33462	0,37		5	680,9967	48418,703	69,9
9	8,733			0,06583		541,4379		
		-0,11572	0,3		9	5	51681,572	91,8
1	8,733	0,08797		0,05577		487,1231		
0		5	0,27		5	5	56759,59	113,3
1	8,733	0,21777		0,05264		448,5466		
1		3	0,25		9	2	62767,721	126,8
1	8,733	0,40757		0,04545		420,6500		
2		1	0,23		3	9	65051,455	151,4
1	8,733	0,61736		0,04225		383,4735		
3		8	0,21		8	6	63517,716	163,5
1	8,733	0,82716		0,04061				
4		6	0,2		2	365,6553	61680,97	165
1	8,733	1,25696		0,03858		345,2370		
5		3	0,19		4	3	58543,91	167,7
1	8,733	1,46676		0,03697		317,5304		
6		1	0,17		8	2	51472,262	165,3
1	8,733	1,54656		0,03467		288,5021		
7		8	0,16		8	6	47644,071	161,4
1	8,733	1,68635		0,02678		267,2314		
8		6	0,14		2	6	41928,868	160,6
1	9,533	1,78615	0,11	0,02156		212,1608	32236,602	160,3

9	3	7	6	00	
2	8,733	2,23595	0,01678	167,2360	
0	1	0,08	9	8	23244,173
2	9,533	2,57674	0,01367		
1	8	0,05	9	95,9813	14082,608
2	8,733	2,51544	0,00357		
2	6	0,02	8	38,98652	5817,0432
2	8,733	2,85324	0,00143		
3	4	0,01	8	17,57826	2903,5216
2	8,733	3,35614			
4	1	0	0	0	160
2	8,733	3,35614			
5	1	0	0	0	160
Всього				8664,162	
				4	76137,4

$deZ_i = \frac{U_i - U_{осн}}{\sigma}$  – відхилення центрованої функції;

$F(u_0)$  – функція розподілу від швидкості;

$f(U_0) = \frac{\sigma \cdot f(U)}{\sigma}$  – закон розподілу швидкості у відносних одиницях;

$\sigma \cdot f(U)$  визначимо по рис.2;

$T_i = f(U_0) \cdot 8760$  – час існування вітру з певною швидкістю;

$W_{\text{годВЕУ}} = \sum_{i=0}^{25} P_i \cdot t_i$  – річне вироблення електроенергії, кВт· год.

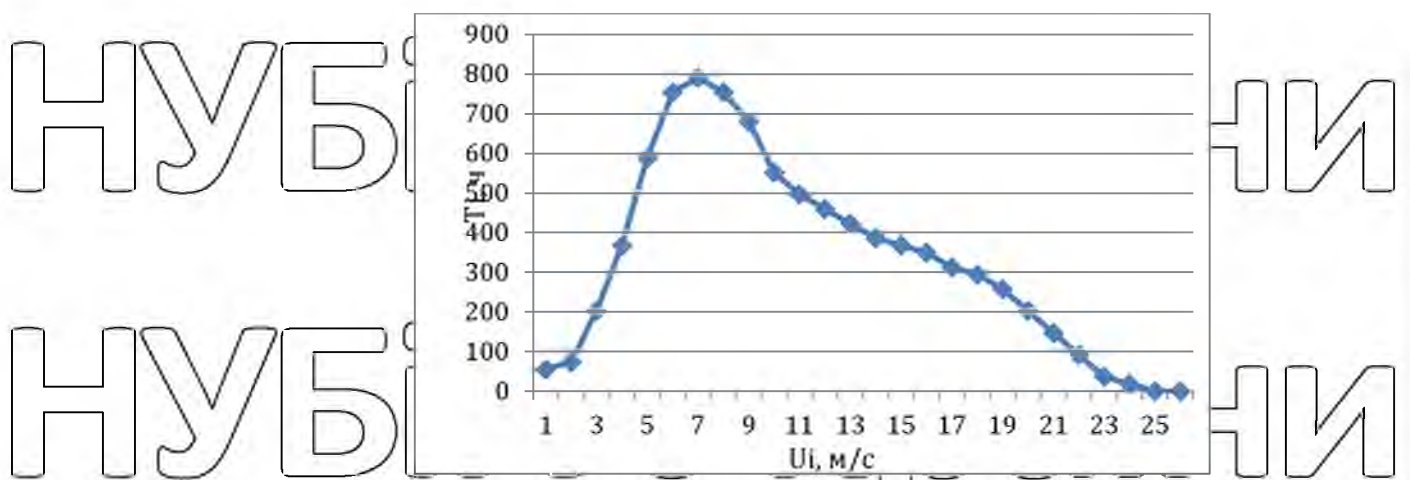


Рис.5.1. Розподіл швидкості вітру для ВЕУ-150.

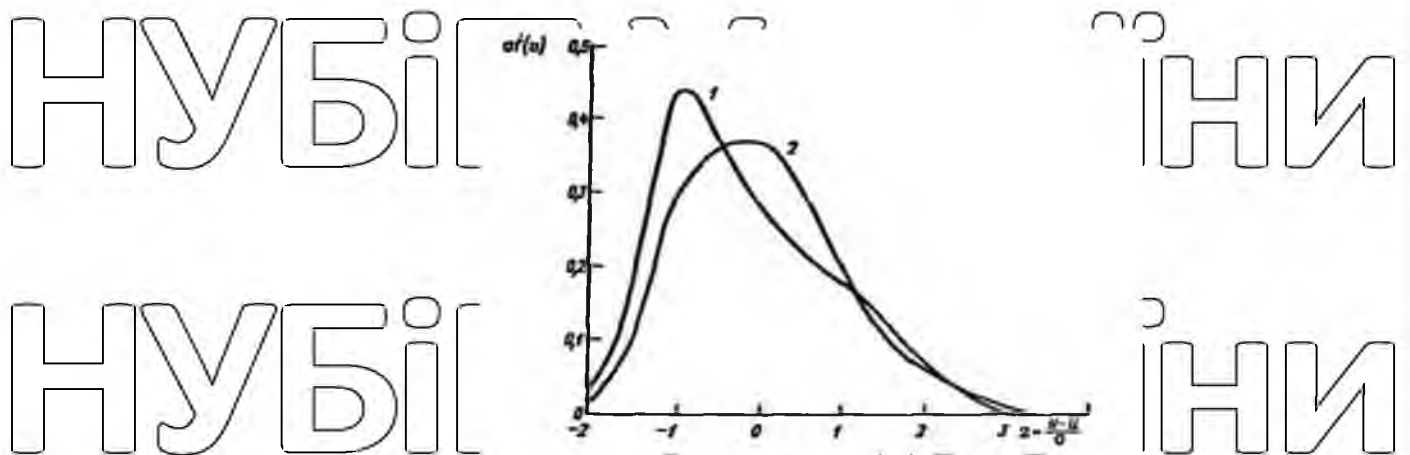


Рис.5.2. Розподіл швидкості вітру в безрозмірних координатах.

Так само будемо визначати, як ВЕУ-250 виробляє електроенергію протягом року та як швидкість вітру розподіляється.

За допомогою графіку відсоткового споживання енергії та загальної потужності населеного пункту ми визначимо, яка потужність в кіловатах споживається взимку та влітку.

Кількість електроенергії, яку споживач використовує:

$$W_{\text{год,потр}} = \left( \sum_0^{24} P_{i,z} \cdot t_{i,z} \right) \cdot 215 + \left( \sum_0^{24} P_{i,l} \cdot t_{i,l} \right) \cdot 150,$$

Значення потужності в зимовий і літній період

Таблиця 5.4

Зима, %	Літо, %	Зима, кВт	Літо, кВт	$P_{max}$
30	20	93,67	63,80	317,8
30	20	93,67	63,80	317,8
30	20	93,67	63,80	317,8
30	20	93,67	63,80	317,8
100	85	319,4	285,515	317,8
100	85	319,4	285,515	317,8
80	70	257,3	213,13	317,8
80	85	257,3	285,515	317,8
40	85	123,7	285,515	317,8
40	70	123,7	213,13	317,8
30	70	93,67	213,13	317,8
30	70	93,67	213,13	317,8

де  $n_z = 215$  - кількість зимових днів;  $n_l = 150$  - кількість літніх днів.

$$W_{\text{річ.потр}} = (94,77 \cdot 8 + 315,9 \cdot 4 + 252,72 \cdot 4 + 126,36 \cdot 4 + 94,77 \cdot 4) \cdot 215 + (63,18 \cdot 8 + 268,515 \cdot 4 + 221,13 \cdot 2 + 268,515 \cdot 4 + 221,13 \cdot 6) \cdot 150 = 1505,579 \text{ МВт} \cdot \text{год}$$

### 5.1.3. Вибір кількості вітроенергетичних установок.

Якщо ми знаємо кількість енергії, яка споживається та кількість енергії, що генерується, то ми можемо визначити необхідну кількість вітроустановок, щоб забезпечити споживачів електроенергією.

$$W_{\text{річ.спож}} \leq W_{\text{річ.ВЕУ1}} \cdot n_1 + W_{\text{річ.ВЕУ2}} \cdot n_2 \leq 1,1 \cdot W_{\text{річ.спож}}$$

де  $n$  - кількість ВЕУ.

$$W_{\text{річ.ВЕУ1}} = 762037,4 \text{ кВт} \cdot \text{год (ВЕУ-150);}$$

$$W_{\text{річ.ВЕУ2}} = 1117722 \text{ кВт} \cdot \text{год (ВЕУ-250);}$$

$$1,1 \cdot 1505,579 = 1664,137 \text{ МВт} \cdot \text{год.}$$

Отже, ми встановлюємо 2 ВЕУ-150. Вироблена ВЕУ енергія становить



"2·762,037=1541,274 МВт·год." Якщо споживач живиться двома ВЕУ-150, тоді перевищення виробництва електроенергії над споживанням становить 1,23%.

#### 5.1.4. Вибір режиму роботи ВЕУ і компоновки гондоли.

Ефективність вітроустановок обмежена тим фактом, що вітроколесо опиняється в безмежному потоці повітря, і відпрацьований повітряний потік повинен покинути межі вітроколеса, не створюючи перешкод набігаючому потоку. Оптимальна швидкість  $n$ -лопастиного вітроколеса визначається на практиці.

$$Z_0 \approx \frac{4\pi}{n}$$

Для трилопатєвого колеса:

Один з дорогих результатів досліджень - це критерій Глауерта, який пов'язує максимальне значення коефіцієнта потужності  $C_p$  з швидкістю  $Z$ . Згідно з рис. 2.23

[1],  $C_p$  дорівнює 0,35. При такому значенні  $C_p$  параметр  $a$  належить діапазону  $0 < a < 0,5$ , що відповідає нормальному режиму роботи вітроколеса. Швидкість обертання вітроколеса набагато менша, ніж швидкість обертання ротора генератора, тому швидкість вітроколеса зазвичай збільшується за допомогою редуктора. Система може мати фіксовану або змінну швидкість. Вибрана система

має змінну швидкість. Швидкість асинхронної машини може регулюватися зміною опору ротора або підведенням зовнішньої напруги з частотою, що відповідає бажаному ковзанню.

Із вітроколесом із змінною швидкістю обертання пов'язуються декілька переваг, таких як: вища ефективність ротора, менше щестерень, низький перехідний момент, відсутність необхідності в механічній системі демпфування та відсутність проблем з синхронізацією. Для вибору компоновки гондоли виходять з типу генератора, тому що в даному випадку, якщо генератор є асинхронним, то використовують базову компоновку гондоли Klatt-генератор, що є модифікацією асинхронного генератора з фазним ротором. Компонентами магнітної РЕ-підсистеми Klatt-генератора є силова електроніка, датчики, електронна апаратура управління, високочастотного трансформатора та високочастотний

трансформатор, що обертається, розташований на одному валу з асинхронним генератором.

Зв'язок між асинхронним генератором і обертовим трансформатором дозволяє конвертувати потужність з роторної обмотки і передавати її до статорної обмотки і мережі через підвищувальний трансформатор за допомогою сигнальної модуляції.

Частота вихідного сигналу асинхронного генератора контролюється за допомогою управління потоком ковзання. Для забезпечення постійної частоти в 50 Гц на виході, потрібно штучно вводити струм певної частоти, який відповідає ковзанню, за допомогою блоку силової електроніки.

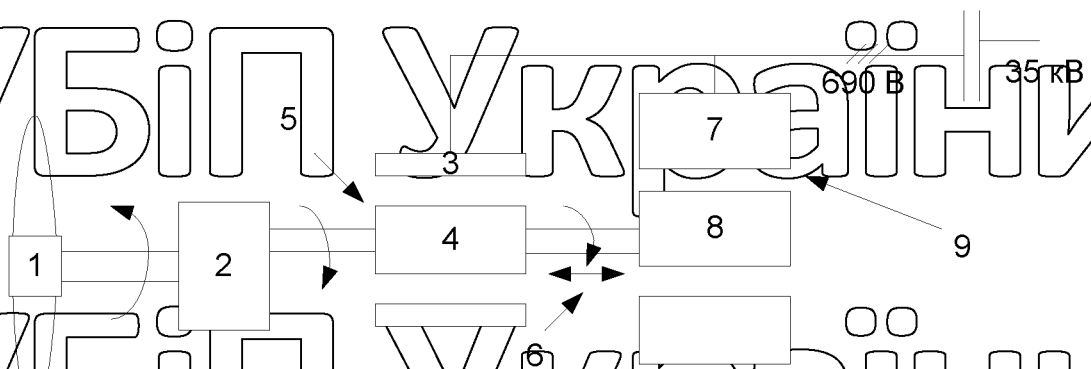


Рис.5.3. Функціональна блок-схема компоновки ВЕУ з трансформатором, що

диференційно обертається, на основі асинхронного генератора з фазним ротором:

1 – вітроколесо, 2 – вітроколесо; 3 – триступінчатий редуктор; 4 – статор; 5 – ротор з трифазною обмоткою; 6 – асинхронний двигун з фазним ротором; 7 – потік потужності ротор - ротор; 8 – статор диференціального трансформатора, що обертається, зі вбудованим в нього блоком силової електроніки; 9 – ротор вращаючогося диференціального трансформатора с встроеным в него блоком силовой электроники; 10 – трансформація високочастотного сигналу через повітряний зазор трансформатора, що обертається диференціально.

Асинхронний генератор споживає реактивну потужність з мережі, тому для його роботи потрібні інші електричні машини та пристрої (наприклад, синхронні генератори, компенсатори, конденсатори), які можуть надавати реактивну потужність.

Ми проведемо розрахунок реактивної потужності генератора, який

використовується в двох вітроустановках ВЕУ-150.

$$Q_{\Gamma} = P_{\Gamma} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 300 \cdot 0,75 = 225 \text{ кВАр.}$$

Сумарна реактивна потужність навантаження знаходимо за формулою:

$$Q_{\Sigma \text{нагр}} = P_{\Sigma \text{нагр}} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 57 \cdot 0,855 + 20 \cdot 1,33 + 9 \cdot 1,73 + 47 \cdot 0,698 + 26 \cdot 0,539 = 137,785 \text{ кВАр.}$$

Сумарна реактивна потужність знаходимо за формулою:

$$Q_{\Sigma} = 225 + 137,785 = 362,785 \text{ кВАр.}$$

Ми встановлюємо конденсаторну установку КРМ-0,4-400-50 в нашій системі. Ця установка призначена для зменшення реактивної потужності, шляхом регулювання коефіцієнта потужності  $\cos \varphi$  з кроком регулювання в 50 кВАр і має потужність  $Q=400$  кВАр.

#### 5.1.4. Вибір місця розташування ВЕУ.

При плануванні місцезнаходження джерел енергії необхідно враховувати їхні потенційні екологічні наслідки. Для забезпечення нормальної роботи телевізійних, радіотехнічних та інших систем, рекомендується дотримуватися мінімальних відстаней між вітроенергетичними установками і цими об'єктами:

- радио- і телепередавачі 6 км;
- системи навігації 0,5 км;
- телеприймачі 0,1-0,8 км;
- аеропорти 4-6 км.

При експлуатації ВЕУ виникає низькочастотний шум, який може впливати на оточуюче середовище, особливо на відстані 150-200 метрів. Дизельні електростанції також мають негативний вплив на довкілля через викиди забруднюючих речовин. Отже, для зменшення впливу на оточуюче середовище рекомендується розміщувати ВЕУ та дизельні установки на достатній відстані від житлових об'єктів та інфраструктури. У даному випадку, ВЕУ розташовано на околиці господарного двору, а дизельна електростанція знаходиться в одному приміщенні з розподільним пристроєм ЗПН.

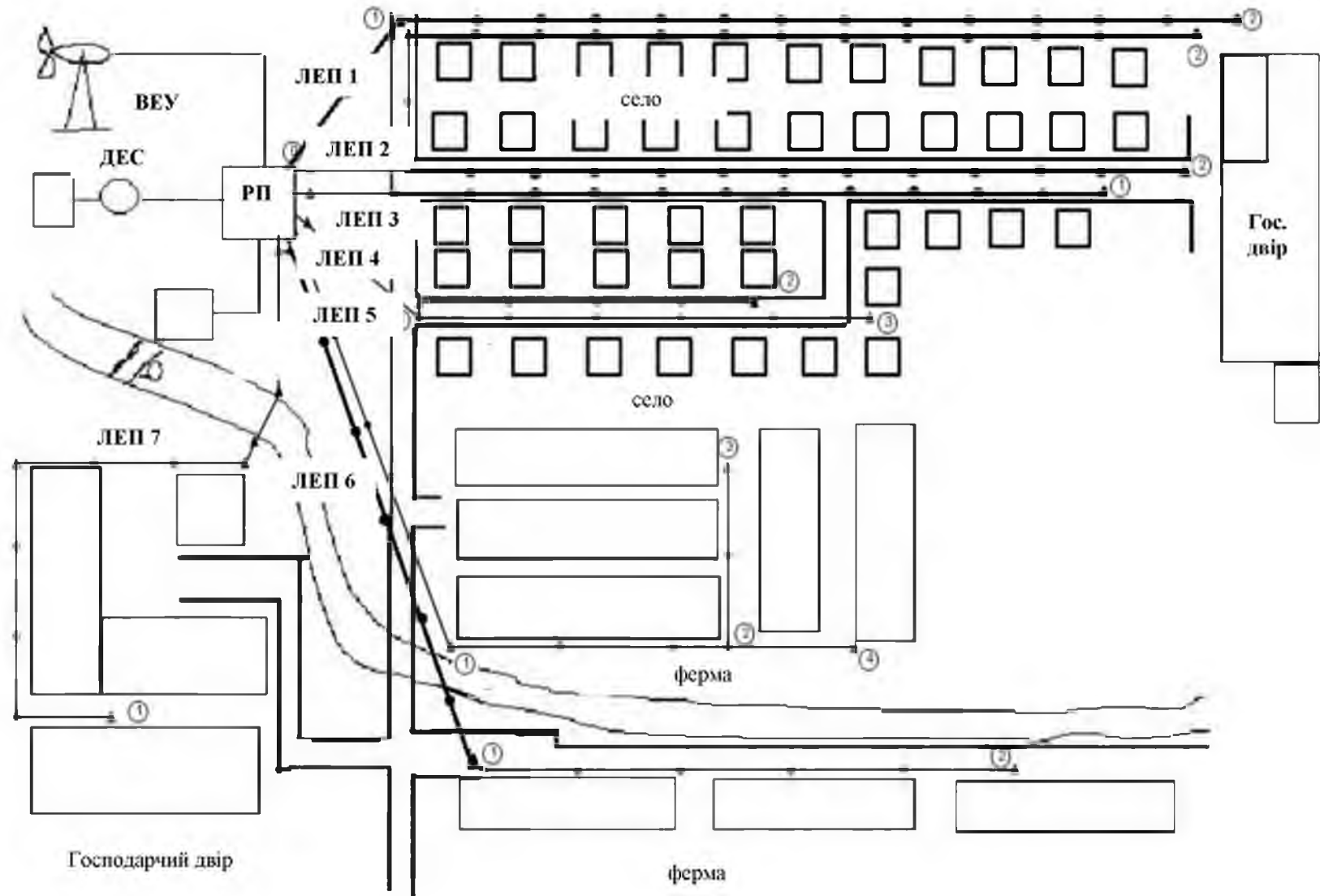


Рис. 5.4. Розташування споживачів електроенергії і джерел енергії.

## 5.2. Компонівка розподільного пристрою і розрахунок захисно-комутаційної апаратури

### 5.2.1. Визначення кількості ліній, що відходять до споживачів.

Лінії електропостачання розподілені за характерними приймачами електроенергії. Перше приєднання забезпечує електроенергією ферму з потужністю 26 кВт. Друге приєднання забезпечує електроенергією 22 будинки житлового сектору з потужністю 96 кВт. Третє та четверте приєднання забезпечують електроенергією 9 та 13 будинків житлового сектору з потужностями 39 та 57 кВт відповідно. П'яте та шосте приєднання живлять ферми з потужностями 20 та 47 кВт відповідно. Сьоме приєднання забезпечує електроенергією промисловий сектор з потужністю 57 кВт. Восьме приєднання живить освітлення з потужністю 9 кВт, а дев'яте приєднання є резервним. Схема електропостачання селища зображена на рисунку 5.5.

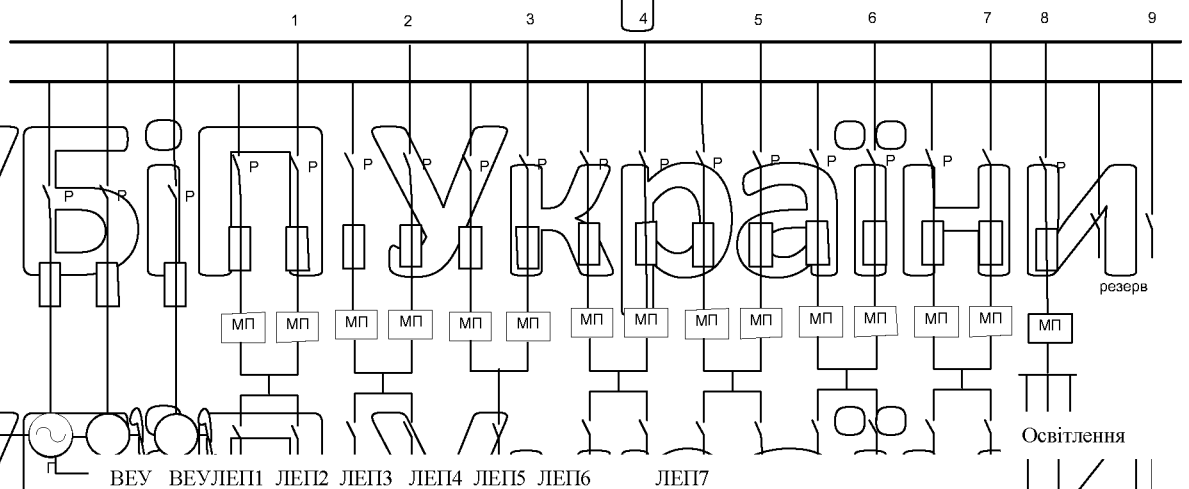


Рис. 5.5. Принципова схема електропостачання.

### 5.2.2. Розрахунок плавких вставок запобіжників або уставок автоматів.

Оскільки немає інформації про характер споживачів, крім їх номінальної потужності, то запобіжники будуть вибиратися на основі захисту споживачів з рідкісними пусками та короткочасними пусковими періодами (2-2,5 секунд).

Наприклад, це можуть бути побутові вентилятори, поливальні насоси та інші пристрої. Запобіжники будуть вибрані відповідно до нормальних робочих струмів, що не спричиняють перегріву.

$$I_p \leq I_{п.в.}$$

$I_{п.в.}$  — струм плавкої вставки, А.

Підберемо відповідний плавкий запобіжник для дизельної електростанції:

$$I_p = \frac{P_d}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{200}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 303,868 \text{ А}$$

Беремо запобіжник ППН-37 400 А,  $I_{п.в.} = 400 \text{ А}$  [4].

Підберемо відповідний плавкий запобіжник для кожної вітроенергетичної установки.

Для ВЕУ-13-150:

$$I_p = \frac{P_{ВЕУ}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{150}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 227,081 \text{ А}$$

Для захисту від пошкоджень при запуску обладнання з довгим часом завантаження вибираємо запобіжник ППН-37 потужністю 400 А, з номінальним струмом  $I_{п.в.} = 400 \text{ А}$ . Кожній вітроустановці потрібен такий запобіжник.

Для приєднань вибираємо запобіжник ППН-33 потужністю 100 А, з номінальним струмом  $I_{п.в.} = 32 \text{ А}$ . Для першого приєднання потрібен такий запобіжник.

$$I_p = \frac{S_{10}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{\sqrt{26^2 + (26 \cdot \text{tg} \varphi_{10})^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 44,875 \text{ А}$$

$$I_{п.в.} = 1,3 \cdot 44,865 = 58,238 \text{ А}$$

Беремо запобіжник ППН-33 100 А,  $I_{п.в.} = 63 \text{ А}$ .

Беремо запобіжник для другого приєднання:

$$I_p = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{96}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 145,757 \text{ А}$$

# НУБІП України

$$I_{п.в.} = 1,3 \cdot 145,867 = 189,174 \text{ А}$$

Беремо запобіжник ППН-35 200 А,  $I_{п.в.} = 200 \text{ А}$ .

Аналогічно беремо запобіжники для інших приєднань.

Розрахунки запишемо в табл.5.5.

# НУБІП України

Таблиця 5.5

## Вибір запобіжників і їх плавких вставок

Номер приєднання	$I_p$	$I_p \cdot 1,3$	$I_{п.в.}$	Тип запобіжника	P, кВт S, кВА
ДЕС	145,678	-	200	ППН-37	100 кВт
1 (ЛЕП1)	44,775	58,438	63	ППН-33	29,536
2 (ЛЕП2)	145,577	4	200	ППН-35	96 кВт
3 (ЛЕП3)	59,514	77,23	100	ППН-33	39 кВт
4 (ЛЕП4)	86,073	112,84	4	ППН-33	57
5 (ЛЕП5)	50,357	65,278	80	ППН-33	33,328
6 (ЛЕП6)	87,794	113,01	9	ППН-33	57,317
7 (ЛЕП7)	113,482	148,02	5	ППН-33	74,994
8 (освітлення)	27,428	35,452	40	ППН-33	18
ВЕУ-13-150	227,081	-	400	ППН-37	150(2шт) кВт

### 5.2.3. Вибір магнітних пускатів.

Ми обираємо магнітний пускач відповідно до номінального струму лінії, в яку він буде встановлений. Також номінальний струм повинен бути збільшений на 10-15%, щоб залишатися в межах регулювання струму, яке не викликає спрацювання теплового реле магнітного пускача. Вибір здійснюється на основі

двох умов: струму магнітного пускача і діапазону регулювання струму, яке не викликає спрацювання теплового реле.

$$I_{мп} \geq I_p \cdot K_3 \quad (5.1)$$

по струму теплового реле

$$I_{тр} \geq I_p \cdot K_3 \quad (5.2)$$

де  $K_3 = 1,1$  - коефіцієнт запасу.

Виберемо магнітний пускач для першого приєднання ( $I_p = 44,875$  А).

$$I_{мп} \geq 44,875 \cdot 1,1 = 49,363 \text{ А.}$$

Для вибору теплового реле встановимо номінальний струм 50 А, тип РТЛ 2059, разом з магнітним пускачем ПМЛ-4220 ( $I_{ном} = 63$  А) та межами регулювання струму неспрацьовування в діапазоні 47-64 А. Отриманий струм буде знаходитися всередині цих меж [5]. Також проведемо аналогічний вибір магнітних пускачів для інших підключень і проведемо розрахунок у таблиці 5.6.

Таблиця 5.6

Вибір типу магнітних пускачів

Номер приєднання	$I_p$ , А	$I_p \cdot 1,1$ , А	Тип магнітного пускача	Номінальний струм пускача, А	Межі регулювання струму, А
1 (ЛЕП1)	44,765	49,633	ПМЛ-4220	63	29,536
2 (ЛЕП2)	145,567	160,353	ПМ-12-200	200	96 кВт
3 (ЛЕП3)	59,514	65,709	ПМ-12-80	80	39 кВт
4 (ЛЕП4)	86,053	95,613	ПМ-12-100	100	57
5 (ЛЕП5)	50,357	54,7	ПМЛ-4210	63	33,328
6 (ЛЕП6)	87,794	95,802	ПМ-12-100	100	57,317
7 (ЛЕП7)	113,482	134,9	ПМ-12-125	125	74,994
8 (освітлення)	27,248	30,083	ПМЛ-3610	40	18

### 5.3. Розрахунок електричної мережі комбінованого електропостачання

#### 5.3.1. Вибір типу лінії і перетину дротів за умовами нагрівання.

Електропостачання мешканців населеного пункту буде забезпечуватись за



допомогою самонесучих повітряних дротів з ізоляцією напругою 0,4 кВ (АМКА).

# НУБІП України

Вибір лінії від ВЕУ до РП

$$I_{\text{дл}} > I_{\text{р}}$$

Два вітроенергетичні установки (ВЕУ) виробляють загальну потужність  $P = 300$  кВт, тобто кожна ВЕУ виробляє потужність 150 кВт. Потрібно розрахувати допустимий тривалий струм для кожної ВЕУ.

Для ВЕУ-150:

$$I_{\text{р}} = \frac{P_{\text{ВЕУ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{150}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 227,081 \text{ А}$$

Отже, для передачі електричної енергії від ВЕУ-13-150 буде використана одна лінія, яка пролягатиме на залізобетонних опорах. Для цієї лінії можуть використовуватися дроти з перетином  $3 \times 120 + 95$  АМКА. Для лінії від ВЕУ-150 буде використано дріт АМКА  $3 \times 70 + 1 \times 70$  з тривалим допустимим струмом 240 А. Розподільні панелі будуть встановлені на боці ВЕУ в РУ. Для цього будуть використовуватися розподільні силові шафи серії ШРС з номінальним струмом до 630 А і номінальною напругою до 400 В трифазного змінного струму. Шафи будуть використовуватися для розподілу електроенергії, а також для захисту ліній від перевантажень і коротких замикань. Кожна шафа матиме одну ввідну лінію та 5 або 8 ввідних ліній.

Розрахуємо струм розподільчої шафи:

Для ВЕУ-150:

$$I_{\text{ршк}} = \frac{P_{\text{ВЕУ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{150}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 227,081 \text{ А}$$

Рекомендую встановити дві розподільні шафи ШРС 1-26УЗ, з номінальним струмом 400 А і 5 ввідними лініями, по одній на кожну вітроустановку. Шафи мають можливість вводу / виводу кабелів зверху через спеціальні сальники, що дозволяє легко підключати лінії без допомоги кабельних введень. Також, зважаючи на те, що кожна шафа має лише одну ввідну лінію, такий підхід дозволить ефективно організувати електропостачання від кожної вітроустановки.

Перевірка запобіжників:

$$I_{\text{ПЛВС}} = 1,3 \cdot 227,081 = 296,721 \text{ А}$$

$296,271 < 400 \text{ А} \rightarrow$  запобіжник підходить.

Для першого з'єднання (ЛЕП 1),  $S = 29,346 \text{ кВт}$ :

$$I_{\text{дд1}} = \frac{29,536}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 44,775 \text{ А}$$

Для вибору проводу необхідно врахувати тривалий допустимий струм. У цьому випадку був обраний дріт АМКА 3x16+1x25 з несучими жилами 16 мм<sup>2</sup>, який має тривалий допустимий струм 100 А, що перевищує необхідний струм 44,775 А.

Аналогічні дії проводяться для вибору проводів на інших ділянках приєднання. Результати внесені в таблицю 10.

Навантаження житлового сектора розділене на три фідери. Для освітлення проектується наявність одного джерела освітлення на кожній опорі. Якщо декілька опор розташовані на одній вулиці по різних сторонах, то джерела освітлення проектуються через одну опору з кожного боку вулиці в шаховому порядку. На першому фідері буде 28 опор, з них на 18 опорах знаходиться джерело освітлення. На другому фідері є 13 опор, з яких на 6 опорах знаходиться джерело освітлення. На третьому фідері також 13 опор, з яких на 6 опорах знаходиться джерело освітлення. Загальна кількість опор з джерелами освітлення становить 30. Для освітлення приймаються лампи по 300 Вт, тому сумарне навантаження на освітлення дорівнюватиме 9 кВт.

Таблиця 5.7

### Вибір перетину дротів ЛЕП

Номер ЛЕП	P, кВт; S,кВА	I <sub>p</sub> , А	I <sub>дл</sub> , А	Марка проводу
2хВЕУ-13-150	150 кВт	227,901	240	АМКА 3x70+1x35
ЛЕП 1	29,346	44,775	100	АМКА 3x16+1x25

ЛЕП 2 (ділянка 0-1)	96 кВт	145,577	195	АМКА 3x50+1x50
ЛЕП 2 (ділян. 1-2, 1-3)	48 кВт	72,288	130	АМКА 3x25+1x35
ЛЕП 3	39 кВт	59,514	130	АМКА 3x25+1x35
ЛЕП 4 (ділянка 0-1)	57 кВт	86,073	130	АМКА 3x25+1x35
ЛЕП 4 (ділянка 1-2)	26,074 кВт	38,9	130	АМКА 3x25+1x35
ЛЕП 4 (ділянка 1-3)	30,548 кВт	46,133	130	АМКА 3x25+1x35
ЛЕП 5 (ділянка 0-1)	33,228	50,357	160	АМКА 3x35+1x50
ЛЕП 5 (ділян. 1-2, 1-3)	16,654	25,338	100	АМКА 3x16+1x25
ЛЕП 6	57,127	87,794	130	АМКА 3x25+1x35
ЛЕП 7	74,884	113,482	160	АМКА 3x35+1x50
Освітлення	18	27,428	100	АМКА 2x16

### 5.3.2. Вибір перетину дротів за втратою напруги.

Щоб уникнути надмірної втрати напруги по лінії між джерелом живлення та споживачем, необхідно відповідні перетини провідників підбирати таким чином, щоб сумарна втрата напруги не перевищувала допустимого значення, яке становить  $\pm 5\%$ . Сумарна втрата напруги обчислюється відносно номінального значення і має наступний вигляд:

$$\Delta U_{\Sigma} = \Delta U_i$$

$$\Delta U_i = \frac{P_i \cdot R_i + Q_i \cdot X_i}{U_{ном}}$$

де  $P_i, Q_i$  – реактивна і активна потужність, передавана по  $i$  – тій лінії, кВт, кВАр;

$R_i, X_i$  – активний і індуктивний опір  $i$  - тій лінії, Ом

Якщо загальна втрата напруги по лінії від джерела живлення до споживача перевищує допустимий рівень, необхідно збільшувати площу перерізу провідників.

Розглядається лінія живлення від одного джерела до споживача.

Будемо припускати, що довжина лінії однакова для всіх джерел і дорівнює 0,2

км

Наприклад, для джерела ВЕУ-150:

$$R_0 = 0,443 \text{ Ом/км}, \quad R_{\text{л}} = 0,443 \cdot 0,2 = 0,0886 \text{ Ом},$$

$$\Delta U\%_{\text{ВЕУ13}} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{рВЕУ}} \cdot R_{\text{л}}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100 = \frac{\sqrt{3} \cdot 227,901 \cdot 0,0886}{380} \cdot 100 = 9,203\%$$

Допустима втрата напруги в лінії перевищена, тому для ліній ВЕУ необхідно встановлювати провід з більшим перетином, наприклад, АМКА 3x120+1x95.

Тривалий допустимий струм для такого перетину складає 300 А.

$$R_0 = 0,275 \text{ Ом/км}, \quad R_{\text{л}} = 0,275 \cdot 0,2 = 0,0565 \text{ Ом},$$

$$\Delta U\%_{\text{ВЕУ}} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{рВЕУ}} \cdot R_{\text{л}}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100 = \frac{\sqrt{3} \cdot 227,901 \cdot 0,0565}{380} \cdot 100 = 5,26\%$$

Оскільки втрати напруги в лінії від ВЕУ до РП все ще перевищують допустиме значення при максимально можливому перетині, буде використовуватися передача енергії по двох паралельних лініях, які розташовані на залізобетонних опорах.

Кожна лінія міститиме 3-фазні та один нульовий дріт. Це зменшить втрати напруги і забезпечить більш якісну передачу енергії до РП.

$$\Delta U\%_{\text{ВЕУ}} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{рВЕУ}} \cdot R_{\text{л}}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100 = \frac{\sqrt{3} \cdot 227,901 \cdot 0,0565}{2 \cdot 380} \cdot 100 = 2,6\%$$

Цей конкретний перетин є придатним, тому ми обираємо перетин АМКА 3x120+1x95.

Втрати напруги для ЛЕП 1.

$$\text{Довжина лінії } 0,38 \text{ км. } R_0 = 1,81 \text{ Ом/км}, \quad R_{\text{л}} = 1,81 \cdot 0,38 = 0,585 \text{ Ом},$$

$$\Delta U\%_{\text{ЛЕП1}} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{рЛЕП1}} \cdot R_{\text{л}}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100 = \frac{\sqrt{3} \cdot 44,875 \cdot 0,745}{380} \cdot 100 = 15\%$$

У зв'язку з тим, що втрати напруги в лінії перевищують допустиме значення, було вирішено встановити дріт більшого перетину для ліній, що йдуть від ВЕУ. Конкретно, встановлюється дріт з перетином АМКА 3x50+1x70. Такий дріт може передавати струм тривалою допустимою величиною, яка становить 195 А.

$$R_0 = 0,433 \text{ Ом/км}, \quad R_{\text{л}} = 0,433 \cdot 0,38 = 0,18 \text{ Ом},$$

$$\Delta U_{\text{леп1}}^{\%} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{леп1}} \cdot R_{\text{л}}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100 = \frac{\sqrt{3} \cdot 44,875 \cdot 0,18}{380} \cdot 100 = 3,5 \%$$

Даний перетин підходить, отже вибираємо перетин АМКА 3x70+1x70.

$$\Delta U_{\text{леп1}}^{\%} = \Delta U_{\text{леп1}}^{\%} + \Delta U_{\text{ВЕУ}}^{\%} = 3,5 + 2,6 = 6,1 \%$$

Пошкодження напруги в лінії залишається в межах припустимого значення (10%), тому ми продовжуємо використовувати обраний дрітний перетин.

Так само ми розраховуємо втрати напруги на інших ділянках для інших підключень.

Для освітлення лінії визначаються втрати напруги.

Освітлення першого фідера лінії.

У цій частині селища є 18 опор, на яких встановлені освітлювальні прилади - лампи потужністю 300 Вт.

Довжина ділянки 0-1 рівна 0,05 км (S=10,79 кВА)

Довжина ділянки 1-2=0,36 км (S=4,19 кВА)

Довжина ділянки 1-3=0,45 км (S=6,59 кВА)

$R_0$  (16 мм<sup>2</sup>)=1,91 Ом/км,

Струм на ділянці 0-1:

$$I_{0-1} = \frac{S_{\text{осв1}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{10,79}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 16,41 \text{ А}$$

$$I_{1-2} = \frac{S_{\text{осв1}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{4,19}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 6,39 \text{ А}$$

$$I_{1-3} = I_{0-1} - I_{1-2} = 16,39 - 6,4 = 10,016 \text{ А}$$

$$\Delta U\%_{0-1} = \frac{I_{0-1} \cdot R_0 \cdot L_{0-1}}{U_{\text{НОМ}}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 16,39 \cdot 1,91 \cdot 0,05}{380} \cdot 100 = 0,71\%$$

$$\Delta U\%_{1-2} = \frac{I_{1-2} \cdot R_0 \cdot L_{1-2}}{U_{\text{НОМ}}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 6,37 \cdot 1,91 \cdot 0,36}{380} \cdot 100 = 2\%$$

$$\Delta U\%_{1-3} = \frac{I_{1-3} \cdot R_0 \cdot L_{1-3}}{U_{\text{НОМ}}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10,016 \cdot 1,91 \cdot 0,45}{380} \cdot 100 = 3,9\%$$

$$\Delta U\%_{\text{л2осв}} = \Delta U\%_{0-1} + \Delta U\%_{1-2} + \Delta U\%_{\text{ВЕУ}} = 0,71 + 2 + 2,6 = 5,31\%$$

$$\Delta U\%_{\text{л2осв}} = \Delta U\%_{0-1} + \Delta U\%_{1-3} + \Delta U\%_{\text{ВЕУ}} = 0,71 + 3,9 + 2,6 = 7,21\%$$

За умови, що втрати напруги не перевищують 10%, для ЛЕП2 зберігається дрiт АМКА 2x16 для освiтлення.

Аналогічним чином будуть визначені параметри для інших фiдерiв освiтлення. Оптимальнi перетини дротiв, враховуючи умови втрати напруги, будуть зведенi до таблицi 5.8.

Таблиця 5.8

**Вибiр перетинiв дротiв по втратi напруги**

Номер ЛЕП	Довжина линии, км	$I_p$ , А	$R_0$ , Ом/км	$\Delta U\%$	$I_{\text{дл}}$ , А	Марка проводуа
1	2	3	4	5	6	7
ВЕУ	0,2	227,081/2	0,234/2	2,4	340	2xАМКА 3x120+1x95
ЛЕП 1	0,39	44,756	0,433	3,2	240	АМКА 3x70+1x70
ЛЕП 2 (дiл. 0-1)	0,05	145,567	0,451	2,2	195	АМКА 3x50+1x70
ЛЕП 2 (дiл. 1-3)	0,36	72,288	0,23	3,6	300	АМКА 3x95+1x95

2)	ЛЕП 2 (діл. 1-	0,45	72,288	0,32	4,6	300	АМКА 3x95+1x95
3)	ЛЕП 3	0,39	59,514	0,433	4,4	240	АМКА 3x70+1x70
1)	ЛЕП 4 (діл. 0-	0,07	86,053	1,4	3,2	130	АМКА 3x25+1x54,6
2)	ЛЕП 4 (діл. 1-	0,12	39,5	1,4	2,5	130	АМКА 3x25+1x54,6
3)	ЛЕП 4 (діл. 1-	0,16	46,133	1,4	4,3	130	АМКА 3x25+1x54,6
1)	ЛЕП 5 (діл. 0-	0,23	50,357	0,678	4,5	160	АМКА 3x35+1x50
2)	ЛЕП 5 (діл. 1-	0,04	25,428	1,18	0,78	100	АМКА 3x16+1x25
3)	ЛЕП 5 (діл. 1-	0,06	25,348	1,18	1,4	100	АМКА 3x16+1x25
1)	ЛЕП 6	0,41	87,094	0,21	5	300	АМКА 3x95+1x70
2)	ЛЕП 7	0,28	113,482	0,22	4,8	300	АМКА 3x95+1x70
Освітлення							
Продовження табл. 5.8							
	1	2	3	4	5	6	7
	ЛЕП 2 (діл. 0-	0,39	16,13	1,11	0,71	100	АМКА 2x16
1)	ЛЕП 2 (діл. 1-	0,36	6,72	1,18	2	100	АМКА 2x16
2)	ЛЕП 2 (діл. 1-	0,45	10,906	1,18	3,9	100	АМКА 2x16
3)	ЛЕП 3	0,39	5,63	1,18	1,85	100	АМКА 2x16
1)	ЛЕП 4 (діл. 0-	0,07	5,63	1,18	0,33	100	АМКА 2x16

ЛЕП 4 (діл. 1-2)	0,12	2,76	1,18	0,29	100	АМКА 2x16
ЛЕП 4 (діл. 1-3)	0,16	2,36	1,18	0,38	100	АМКА 2x16

## 5.3.3. Перевірка чутливості плавких вставок і уставок автоматів при однофазному короткому замиканні.

Згідно Правил улаштування електричних установок (ПУЕ), у електричних мережах з напругою до 1000 В, захисні пристрої мають надійно відключатися під час короткого замикання в одній фазі. Для віддалених споживачів рекомендується проводити вибіркочку перевірку шляхом розрахунку опорів між фазою та нулем у ланцюзі.

У системах з напругою до 1000 В, для впевненості в надійному відключенні при короткому замиканні між фазами та нульовими проводами, рекомендується оцінити струм однофазного короткого замикання за допомогою відповідної формули (5.3)

$$I_{кз} = \frac{U_{\phi}}{Z_{\text{пф}0}} \quad (5.3)$$

де  $U_{\phi}$  - фазна напруга мережі, В;

$Z_{\text{пф}0}$  - повний опір петлі фаза-нуль до найбільш видаленої точки мережі, Ом.

Для перевірки запобіжників на чутливість розрахуємо струм КЗ

$$I_{\text{сп.пл.вс}} < I_{\text{окз}}$$

де  $I_{\text{сп.пл.вс}}$  – ток спрацьовування плавкої вставки ОКЗ (автоматичний захист

ліній з напругою 0,4 кВ повинен спрацьовувати не пізніше, ніж через 5 секунд в разі короткого замикання. Тобто, тривалість короткого замикання не повинна перевищувати 5 секунд).

Далі для всіх запобіжників були взяті середні значення струмів "I" при



тривалості короткого замикання в 5 секунд - це вважається "найважчим" випадком.

Повний опір лінії знаходимо за формулою:

$$Z_{\text{лф-0}} = R_{0(\phi-0)} \cdot L_{\text{л}} \quad (5.4)$$

Виконаємо розрахунок однофазного короткого замикання на кінці лінії вітроустановки:

$$X_0 = 0,15 \cdot X_d'', \quad (5.5)$$

де  $X_d'' \approx 0,2$ ,  $\rightarrow X_0 = 0,15 \cdot 0,2 = 0,03$  в. о.

Визначимо опір нульовій послідовності для паралельно розташованих електроустановок (2ВЕУ):  $P_{\Sigma} = 300$  кВт,  $U_{\text{н}} = 400$  В,  $\cos\phi = 0,9$

$$Z_{r0} = \frac{X_0 \cdot U_{\text{н}}^2 \cdot \cos\phi}{P_{\Sigma} \cdot 10^3} = \frac{0,03 \cdot 400^2 \cdot 0,9}{300 \cdot 10^3} = 0,0144 \text{ Ом}$$

Визначимо струм ОКЗ для кожного приєднання.

**Розрахунок для ВЕУ:**

$$R_{\phi} = 0,234 \text{ Ом/км}; R_{\text{нул.пр}} = 0,335 \text{ Ом/км}; L_{\text{л}} = 0,2 \text{ км}$$

Оскільки передача енергії від ВЕУ відбувається через дві паралельні лінії, то в такому випадку опір буде дорівнювати:

$$Z_{\text{лф-0}} = \frac{(R_{\phi} + R_{\text{нул.пр}}) \cdot L_{\text{л}}}{2} = \frac{(0,253 + 0,363) \cdot 0,2}{2} = 0,0616 \text{ Ом}$$

$$Z_{\text{пфо}} = Z_{\text{лф-0}} + Z_{r0} = 0,0660 + 0,0144 = 0,076 \text{ Ом}$$

$$I_{\text{кз}} = \frac{U_{\phi}}{Z_{\text{пфо}}} = \frac{220}{0,076} = 2848,74 \text{ А}$$

ППН-37, 400 А — запобіжник спрацьовує при струмі ОКЗ 1000 А.

$1800 < 2848,74$  А, захист чутливий до струму ОКЗ.

### Розрахунок для ЛЕП 1:

$$R_{\phi} = 0,433 \text{ Ом/км}; R_{\text{нул.пр}} = 0,438 \text{ Ом/км}; L_{\text{л}} = 0,39 \text{ км}$$

$$Z_{\text{лф-0}} = (R_{\phi} + R_{\text{нул.пр}}) \cdot L_{\text{л}} = (0,433 + 0,493) \cdot 0,39 = 0,365 \text{ Ом}$$

$$I_{\text{кз}} = \frac{U_{\phi}}{Z_{\text{лф-0}}} = \frac{220}{0,365} = 602,46 \text{ А}$$

ППН-33, 63А – запобіжник спрацює при струмі ОКЗ 200 А.

200 < 602,36 А, захист чутливий до струму ОКЗ.

### Розрахунок для ЛЕП 2:

$$\text{Ділянка 0-1: } R_{\phi 01} = 0,613 \text{ Ом/км}; R_{\text{нул.пр}01} = 0,438 \text{ Ом/км}; L_{\text{л}01} = 0,05 \text{ км}$$

$$Z_{\text{лф-0(01)}} = (R_{\phi 01} + R_{\text{нул.пр}01}) \cdot L_{\text{л}01} = (0,641 + 0,493) \cdot 0,05 = 0,057 \text{ Ом}$$

$$\text{Ділянка 1-2: } R_{\phi 12} = 0,23 \text{ Ом/км}; R_{\text{нул.пр}12} = 0,335 \text{ Ом/км}; L_{\text{л}12} = 0,36 \text{ км}$$

$$Z_{\text{лф-0(12)}} = (R_{\phi 12} + R_{\text{нул.пр}12}) \cdot L_{\text{л}12} = (0,32 + 0,363) \cdot 0,36 = 0,24 \text{ Ом}$$

$$\text{Ділянка 1-3: } R_{\phi 13} = 0,23 \text{ Ом/км}; R_{\text{нул.пр}13} = 0,336 \text{ Ом/км}; L_{\text{л}13} = 0,45 \text{ км}$$

$$Z_{\text{лф-0(13)}} = (R_{\phi 13} + R_{\text{нул.пр}13}) \cdot L_{\text{л}13} = (0,32 + 0,363) \cdot 0,45 = 0,31 \text{ Ом}$$

$$Z_{\text{п}02} = Z_{\text{лф-0(01)}} + Z_{\text{лф-0(12)}} = 0,057 + 0,24 = 0,296 \text{ Ом}$$

$$Z_{\text{п}03} = Z_{\text{лф-0(01)}} + Z_{\text{лф-0(13)}} = 0,057 + 0,31 = 0,37 \text{ Ом}$$

$$I_{\text{кз}02} = \frac{U_{\phi}}{Z_{\text{п}02}} = \frac{220}{0,296} = 741,4 \text{ А}$$

$$I_{\text{кз}03} = \frac{U_{\phi}}{Z_{\text{п}03}} = \frac{220}{0,37} = 592,7 \text{ А}$$

ППН-33, 200А – запобіжник спрацює при струмі ОКЗ 730 А

На ділянці 0-2: 730 < 741,4 А, захист чутливий до струму ОКЗ.

На ділянці 0-3: 730 > 592,7 А, захист не чутливий до струму ОКЗ. Отже на ділянці 1-3 ЛЕП 2 необхідно вибрати дріт з великим перетином АМКА 3x120+1x95, на участку 0-1 АМКА 3x120+1x95. Тоді:

$$\text{Ділянка 0-1: } R_{\phi 01} = 0,235 \text{ Ом/км}; R_{\text{нул.пр}01} = 0,335 \text{ Ом/км}; L_{\text{л}01} = 0,05 \text{ км}$$

$$Z_{\text{лф-0(01)}} = (R_{\phi 01} + R_{\text{нул.пр}01}) \cdot L_{\text{л}01} = (0,253 + 0,363) \cdot 0,05 = 0,03 \text{ Ом}$$

$$\text{Ділянка 1-3: } R_{\phi 13} = 0,234 \text{ Ом/км}; R_{\text{нул.пр}13} = 0,335 \text{ Ом/км}; L_{\text{л}13} = 0,45 \text{ км}$$

$$Z_{\text{лф-0(13)}} = (R_{\text{ф13}} + R_{\text{нул.пр(3)}}) \cdot L_{\text{л13}} = (0,253 + 0,363) \cdot 0,45 = 0,26 \text{ Ом}$$

$$Z_{\text{п02}} = Z_{\text{лф-0(01)}} + Z_{\text{лф-0(12)}} = 0,03 + 0,24 = 0,27 \text{ Ом}$$

$$Z_{\text{п03}} = Z_{\text{лф-0(01)}} + Z_{\text{лф-0(13)}} = 0,03 + 0,26 = 0,29 \text{ Ом}$$

$$I_{\text{кз02}} = \frac{U_{\text{ф}}}{Z_{\text{п02}}} = \frac{220}{0,27} = 812,7 \text{ А}$$

$$I_{\text{кз03}} = \frac{U_{\text{ф}}}{Z_{\text{п03}}} = \frac{220}{0,29} = 758,6 \text{ А}$$

ПЛН-33, 200А – запобіжник спрацьовує при струмі ОКЗ 730 А.

730 < 812,7 А, захист чутливий до струму ОКЗ.

730 < 758,6 А, захист чутливий до струму ОКЗ.

Запишемо результати розрахунків в табл.5.9.

Таблиця 5.9

**Результат розрахунку струмів однофазного короткого замикання**

Номер ЛЕП	$I_{\text{окз}}, \text{ А}$	$I_{\text{ср.пл.вс}}, \text{ А}$	$I_{\text{пл.вс}}, \text{ А}$	Довжина а лінії, км	$R_{\text{ф}}, \text{ Ом/км}$	$R_{\text{нул}}, \text{ Ом/км}$	Марка проводу
1	2	3	4	5	6	7	8
ВЕУ	2848,7	1800	400	0,2	0,235/2	0,335/2	2 АМКА 3x120+1x95
ЛЕП 1	422,18	200	63	0,39	0,433	0,438	АМКА 3x70+1x70
ЛЕП 2 (діл. 0-1)	$I_{\text{02}}=812,6$	730	200	0,05	0,234	0,335	АМКА 3x120+1x95
ЛЕП 2 (діл. 1-2)	$I_{\text{03}}=758,6$	730	200	0,36	0,22	0,335	АМКА 3x95+1x95
ЛЕП 2 (діл. 1-3)	-	730	200	0,45	0,234	0,335	АМКА 3x120+1x95
ЛЕП 3	606,48	300	100	0,39	0,433	0,438	АМКА 3x70+1x70
ЛЕП 4 (діл. 0-1)	$I_{\text{02}}=656,8$	600	125	0,07	1,3	0,35	АМКА 3x25+1x54,6
ЛЕП 4 (діл. 1-2)	$I_{\text{03}}=613$	600	125	0,12	1,3	0,35	АМКА 3x25+1x54,6
ЛЕП 4 (діл. 1-3)	-	600	125	0,16	0,885	0,35	АМКА 3x35+1x54,6
ЛЕП 5 (діл. 0-1)	$I_{\text{02}}=448,7$	330	80	0,23	0,885	0,26	АМКА 3x35+1x50

ЛЕП 5 (діл. 1-2)	$I_{03}=400$	330	80	0,04	1,18	0,82	АМКА 3x16+1x25
ЛЕП 5 (діл. 1-3)	-	330	80	0,06	1,18	1,82	АМКА 3x16+1x25
ЛЕП 6	658,01	600	125	0,41	0,22	0,435	АМКА 3x95+1x70
ЛЕП 7	956,44	750	160	0,28	0,22	0,493	АМКА 3x95+1x70
Освітлення							
ЛЕП 2 (діл. 0-1)	$I_{02}=210$	150	40	0,05	1,2	1,34	АМКА 2x25

Продовження табл. 5.9

1	2	3	4	5	6	7	8
ЛЕП 2 (діл. 1-2)	$I_{03}=165,5$ 4	150	40	0,36	1,2	1,34	АМКА 2x25
ЛЕП 2 (діл. 1-3)	-	150	40	0,45	1,2	1,34	АМКА 2x25
ЛЕП 3	211,6	150	40	0,39	1,2	1,34	АМКА 2x25
ЛЕП 4 (діл. 0-1)	$I_{02}=428,9$	150	40	0,07	1,2	1,34	АМКА 2x25
ЛЕП 4 (діл. 1-2)	$I_{03}=362,8$ 8	150	40	0,12	1,2	1,34	АМКА 2x25
ЛЕП 4 (діл. 1-3)	-	150	40	0,16	1,2	1,34	АМКА 2x25

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 6

ОХОРОНА ПРАЦІ

### 6.1. Аналіз стану охорони праці в сільськогосподарському підприємстві

Система законодавчих, нормативних, соціально-економічних, технічних, гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів забезпечує охорону праці на сільськогосподарському підприємстві, забезпечуючи безпеку та збереження

здоров'я працюючих. Безпека всіх осіб, які безпосередньо користуються

електроустановками, залежить від знань, розуміння та правильного дотримання

електротехнічним персоналом вимог електробезпеки під час монтажу та

експлуатації електроустановок. Вимоги охорони праці мають бути враховані на

етапі проектування реконструкції електричних мереж сільськогосподарського

підприємства. Розвиток сільськогосподарського сектора передбачає

електрифікацію та автоматизацію, що призводить до зростання взаємодії

працівників з електроустановками різних типів та напруг. Особлива увага

приділяється охороні праці та здоров'ю працівників, ліквідації професійних

захворювань та виробничого травматизму на тваринницьких приміщеннях. Для досягнення цих цілей регулярно виділяються кошти, призначені спеціально для цих цілей.

На тваринницькому приміщенні проводяться заходи з охорони праці, які спрямовані на полегшення і покращення умов праці. Ці заходи базуються на механізації, електрифікації та автоматизації технологічних процесів. Крім того, проводиться широке впровадження сучасних засобів безпеки, щоб уникнути травматизму та професійних захворювань серед робітників і службовців. Одним із головних завдань керівника є створення на виробництві необхідних гігієнічних і санітарно-побутових умов. Після обстеження трансформаторних підстанцій, електричних мереж, заземлюючих пристроїв та виробничих електроустановок було встановлено їх задовільний стан з точки зору вимог правил безпеки. На тваринницькому приміщенні функціонує спеціалізована служба з охорони праці, очолювана інженером з охорони праці, який керує проведенням щорічного комплексного плану покращення умов праці та санітарно-оздоровчих заходів. Адміністрація фабрики надає необхідні ресурси, матеріали та фінансові кошти для реалізації цих заходів.

Контроль за станом охорони праці здійснює комісія профспілкового комітету фабрики через громадських інспекторів з охорони праці.

За останні чотири роки на тваринницькому приміщенні зареєстровано п'ять нещасних випадків. Коефіцієнти частоти, тяжкості травматизму, втрат робочого часу та інші показники, що свідчать про стан охорони праці, наведені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

**Характеристика стану охорони праці на підприємстві**

Показник	Значення показника за роками		
	2013	2014	2015
1	2	3	4
1. Середньостатистична чисельність працюючих Р, осіб	310	3250	340
2. Плановий обсяг фінансування заходів з охорони праці А <sub>пл</sub> , грн.	2500	3000	3000

3. Фактичний обсяг фінансування з охорони праці А <sub>факт</sub> , грн	2000	2800	2600
4. Загальна кількість нещасних випадків Т зокрема за травмуючими факторами:	1	2	2
– ураження електричним струмом;		1	
– падіння з висоти			
– дорожно-транспортні пригоди	1		1
– попадання до робочих органів сільськогосподарської техніки		0	0
– опіки			1
– отруєння			
– інші			
5. Основні причини травматизму (% загальної кількості нещасних випадків):			
1	2	3	4
– незадовільна організація робіт			
– незадовільний стан споруд і будівель			
– незадовільний стан сільськогосподарської техніки		50	
– порушення трудової і виробничої дисципліни (порушення вимог ПБЕ електроустановок споживачів)		50	
– порушення правил дорожнього руху	100		50
– незастосування засобів захисту			50
6. Розподіл потерпілих за професіями (загальної кількості травм):			
– електромонтери		50	
– неелектротехнічний персонал в електротехнічних установках			
– слюсарі			50
– механізатори	100	50	
– водії			
– інженерно-технічний персонал			50
7. Втрачено робочих днів із-за непрацездатності Д, днів	28	56	56
8. Збитки, пов'язані із нещасними випадками (виплати за листком непрацездатності; вартість пошкодженого обладнання, інструменту, матеріалів, інші витрати), грн	158	280	316

Продовження табл. 6.1

# НУБІП України

## 6.2. Безпечність об'єкта проектування

### 6.2.1. Визначення категорій приміщень та класів виробничих зон.

Таблиця 6.2 містить перелік приміщень, електроустановок та окремих зон, які відносяться до різних категорій щодо небезпеки ураження електричним струмом, вибухів та пожеж.

### 6.2.2. Визначення джерел небезпеки.

# НУБІП України

Таблиця 6.3

## Перелік та розташування джерел небезпеки на об'єкті проектування

Вид джерела небезпеки	Об'єкт / джерело небезпеки назва	місце розташування
1. Джерело електромагнітної небезпеки	Трансформатори, що перетворюють напругу з 10 кВ на 0,4 кВ, та синхронний генератор.	Підстанція закритого типу з трансформаторами та резервною дизель-електростанцією.
2. Джерело пожежної небезпеки	Трансформатори для перетворення напруги з 10 кВ на 0,4 кВ, а також двигун дизель-електрогенератора.	Підстанція закритого типу з трансформаторами та дизель-електростанцією.
3. Вибухонебезпечне джерело	Трансформатори для перетворення напруги з 10 кВ на 0,4 кВ, а також двигун дизель-електрогенератора.	Підстанція з трансформаторами та дизель-електростанцією.
4. Джерело шуму	Трансформатори для енергії, двигун та генератор дизель-електростанції, а також технологічне обладнання.	Підстанція з трансформаторами, дизель-електростанція Пташники та цехи



НУБІП України  
Трансформаторна підстанція, що є джерелом електроенергії для приміщення,  
має ризики для безпеки, зокрема електромагнітну, пожежну та вибухонебезпечну.

НУБІП України  
Крім того, вона спричиняє шум.  
**6.3. Розробка заходів щодо усунення небезпечних та шкідливих виробничих факторів**

НУБІП України  
Для забезпечення безпеки під час роботи з електричними установками передбачена відповідна кількість та перелік індивідуальних захисних засобів, плакатів, інструментів та пристроїв.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

Таблиця 6.2

## Категорії виробництв, приміщень та класи виробничих зон

Назва виробництва та приміщення	Характеристики виробництва за вибухо- і пожежонебезпечністю	Категорія виробництва за вибухо- і пожежонебезпечністю	Категорія приміщення за вибухопожежною небезпечністю	Клас пожежонебезпечних зон (за ПУЕ-86)	Клас вибухонебезпечних зон (за ПУЕ-86)	Категорія приміщення за умовами навколишнього середовища (за ПУЕ-86)	Категорія приміщення стосовно небезпеки ураження електричним струмом (за ПУЕ)	Санітарний клас підприємства
Трансформаторна підстанція 10/0,4 кВ закритого типу			Вибухо- і пожежонебезпечне з-печне	II-III	B-IIa	Сухе	особливо небезпечне	
Приміщення ДЕС			Вибухо- і пожежонебезпечне з-печне	II-III	B-IIa	Сухе	Особливо небезпечне	

#### 6.4. Розрахунок потреби та вибір захисних засобів

Згідно з чинними «Нормами комплектування засобів захисту» та їх номенклатурою, розрахунок та вибір захисних засобів повинен враховувати кількість розподільних пристроїв споживчих ТП та інші фактори. Для безпечної експлуатації підстанції необхідно забезпечити персонал захисними засобами. Таблиця 6.4 наводить розрахунок, в якому передбачено заземлення корпусів силових трансформаторів та розподільних пристроїв, що можуть потрапити під напругу при однофазному замиканні, для захисту від шкідливих та небезпечних факторів.

Таблиця 6.4

Розрахунок потреби засобів захисту

№ п/п	Найменування захисних пристроїв	Тип	Одиниці виміру	Кількість
1.	Ізольююча оперативна штанга	ШОК-10	шт.	1
2.	Вказівник напруги 10 кВ	ПНВ-2	шт.	1
3.	Вказівник напруги 0.4 кВ	УНН-1	шт.	2
4.	Діелектричні рукавички		Пар	2
5.	Діелектричні боти		Пар	1
6.	Переносне заземлення 10 кВ	ПЗЗ-1-5	компл.	2
7.	Переносне заземлення 0.4кВ		компл.	2
8.	Захисні окуляри	С-2	шт.	2
9.	Тимчасова огорожа		шт.	2
10.	Шланговий протигаз	ШП-1	шт.	2
11.	Захисна каска	А	шт.	2
12.	Переносні плакати і знаки безпеки		Комплек	2

Процедура видачі засобів індивідуального захисту регулюється "Інструкцією про порядок забезпечення працівників спецодягом, спецвзуттям та іншими

засобами індивідуального захисту". Засоби індивідуального захисту видаються на визначений строк відповідно до норм галузі. Для забезпечення безпеки при роботі з електричним обладнанням ЗТП напругою 10/0,4 кВ, якщо необхідно працювати біля електричних провідників без відключення напруги, встановлюють тимчасові бар'єри та використовують діелектричні рукавиці, а також ізолюючі штанги або кліщі. Для відключення струмопровідних частин ЗТП-10/0,4 кВ з напругою більше 1000 В для проведення ремонтних робіт знімають запобіжники, демонтують ділянки шин, від'єднують кінці кабелів і т.д. Для захисту від ураження електричним струмом під час обслуговування електричного обладнання підстанції передбачені сітчасті та змішані огорожі для струмопровідних частин.

### **6.5. Захист від перенапруги**

Для забезпечення безпечної роботи, особливо електротехнічного персоналу, було вжито заходів щодо захисту ліній і установок від перенапруги, яка виникає внаслідок підвищення напруги в мережі та різниці напруг електричних установок. Це може призвести до руйнування ізоляції та зниження електробезпеки. Є дві групи причин виникнення перенапруги: внутрішні (під дією джерел енергії в електричній мережі) та атмосферні (в результаті дії атмосферної електроенергії при грозових розрядах). Для сільських електроустановок з напругою до 35 кВ, спеціальні заходи не застосовуються, оскільки величина перенапруг в цьому випадку ще безпечна для ізоляції, але необхідно зменшувати ці негативні процеси шляхом вдосконалення кваліфікації електротехнічного персоналу.

Атмосферні перенапруги виникають у вигляді великих напругових імпульсів (часто досягають значень у мільйонах вольт) під час прямих ударів блискавки в елементи електричних установок, а також при близьких ударах грому або грозових розрядах поряд з електрообладнанням.

Для захисту об'єкта проектування від атмосферних перенапруг було виконано комплекс заходів, що ґрунтуються на техніко-економічних розрахунках. Цей комплекс включає в себе такі заходи:

→ Встановлення стержневих блискавковідводів, які призначені для захисту будівель та електричних установок від прямих ударів блискавки. Вони

представляють собою добре заземлені провідники, розташовані вище захищених елементів.

- Використання вентиляльних розрядників, зокрема РС-10 для сторони 10 кВ і РВН-0.5 для сторони 0,4 кВ. Вони захищають обмотки низької напруги споживчих трансформаторів, які з'єднані з повітряними лініями.

- Будівництво спеціальних заземлювачів, які призначені для заземлення блискавкозахисних пристроїв.

Крім того, на відстані 40-50 і 80-100 м від підстанції встановлюються два захисні заземлення з опором не більше 30 Ом.

## 6.6. Техніка безпеки при експлуатації електрообладнання

Правильне проектування, монтаж і експлуатація обладнання на тваринницьких фермах можуть унеможливити шкідливі та небезпечні фактори. Більшість приміщень на фермах, такі як свинарники, кормощехи та водокачки, є особливо небезпечними з точки зору ураження електричним струмом. Робота на струмоведучих частинах, які знаходяться під напругою, та зміна ламп під напругою заборонені. У таких приміщеннях потрібно використовувати електроприймачі у трифазному виконанні, щоб у нульовому проводі не було струму та спаду напруги. Освітлювальне навантаження на фермах повинно розподілятися рівномірно по трьох фазах. Для вмикання і вимикання загального освітлення застосовують трифазні вимикачі або рубильники. Кнопки керування пусковою апаратурою повинні бути встановлені біля робочих місць, а вимикачі та запобіжники - в сусідніх сухих приміщеннях. Електродвигуни повинні бути спеціальною сільськогосподарською моделлю та захищені автоматичними вимикачами або запобіжниками від коротких замикань. Кнопки та світильники повинні бути придатними для вологих приміщень з хімічно активним середовищем.

Для електробезпеки у тваринницьких приміщеннях необхідно використовувати проводи та кабелі, що відповідають середовищу, у якому вони

використовуються. Відстань між проводами та металевими трубопроводами повинна бути не менше 10 см. Якщо проводка знаходиться на висоті менше 2 м у приміщеннях – без підвищеної небезпеки, або менше 2,5 м у приміщеннях з підвищеною небезпечкою або особливо небезпечних, то вона повинна бути захищена від механічних пошкоджень. Опір ізоляції проводів повинен бути не менше 0,5 МОм між заборонниками або між будь-яким проводом і землею чи між двома будь-якими проводами.

Для забезпечення безпеки тварин у приміщеннях тваринницьких комплексів необхідно використовувати засоби для вирівнювання потенціалів. На свинофермах вирівнювання потенціалів здійснюється за допомогою природного вирівнювання потенціалів за допомогою металевих конструкцій споруд та обладнання, які занурені в землю, без використання спеціальних пристроїв в підлозі. Глибина вбудовування стійок металевих конструкцій в бетонну підлогу повинна бути не менше 20 см. Якщо вирівнювання потенціалів не використовується, то металеві трубопроводи, кормороздавальні транспортери та інші машини, до яких можуть доторкатись тварини, повинні бути ізольовані від нульового проводу та корпусів електрообладнання за допомогою ізоляційних прокладок та муфт.

### **6.7. Система протипожежного захисту**

На підстанції пожежі можуть виникнути з різних причин, таких як грозові розряди, несправність обладнання та порушення правил протипожежної безпеки. Якщо на підстанції виникає пожежна небезпека, електроприймачі припиняють отримувати електропостачання, що може призвести до серйозних втрат у сільському господарстві. Усі конструкції на підстанції є негорючими і зроблені з металу та залізобетону. Для запобігання пожежам на підстанції передбачено встановлення протипожежного щита, детальну комплектацію якого можна знайти у таблиці 6.5.

# НУБІП України

## Комплектація протипожежного щита

№ п/п	Найменування	Одиниці виміру	Кількість	Місце зберігання
1.	Вогнегасник ОУ-5	шт	2	щит
2.	Багор	шт	2	те ж
3.	Лопата	шт	2	«---»
4.	Кирка	шт	2	«---»
5.	Лом	шт	1	«---»
6.	Відро	шт	2	«---»
7.	Ящик з піском	шт	2	біля трансформ.

У випадку виникнення пожежі на закритій споживчій трансформаторній підстанції з напругою 10/0,4 кВ необхідно взяти наступних заходів:

- відключити підстанцію від електричної мережі вищої та нижчої напруги;
- викликати пожежників;
- вимкнути електричне обладнання та заземлити його, щоб ушкоджену ділянку не електризувало;
- гасити пожежу за допомогою вуглекислотних вогнегасників та піску;
- дозволити пожежникам приєднатися до гасіння пожежі, попередньо показавши, що об'єкт відключений та обладнання заземлене.

Для загашення пожежі на трансформаторній підстанції використовують вуглекислотні вогнегасники та пісок.

### 6.8. Розрахунок заземлювального пристрою ЗТП напругою 10/0,4 кВ

Ми проводимо розрахунок заземлювального пристрою для трансформаторної підстанції ЗТП 10/0,4 кВ з двома трансформаторами потужністю 1600 кВА кожний.

Заземлювальний пристрій буде складатися з замкнутого контуру, який буде містити сталеву штабу з прямокутним перерізом 40x4 мм та вертикальні електроди діаметром  $d = 0,012$  м та довжиною  $l = 4$  м. Електроди будуть закладені на глибину

$t = 0,8$  м від поверхні землі та матимуть двошарову електричну структуру.

$$\rho_1 = 750 \text{ Ом} \cdot \text{м}; \quad \rho_2 = 240 \text{ Ом} \cdot \text{м}; \quad h_1 = 3 \text{ м}$$

$$m = \rho_1 / \rho_2 = 750 / 240 \approx 3.13$$

Мережа напругою 10 кВ має певну довжину і знаходиться в третій кліматичній зоні, де середньорічна тривалість гроз становить 60 годин:

повітряної ЛП – 0 км,

кабельної ЛК – 0,4 км.

Для заземлення ЗТП 10/0,4 кВ, використовується залізобетонний фундамент будівлі площею 70 м<sup>2</sup> як природний заземлювач. Оскільки на установці

використовуються електроустановки напругою до і понад 1000 В, то заземлювальний пристрій має відповідати певним вимогам, включаючи опір, що залежить від мережі, в якій працює. Для мережі 0,38 кВ з глухо заземленою

нейтраллю опір заземлювального пристрою має становити 4 Ом. Щоб визначити допустиму величину опору заземлювального пристрою, потрібно врахувати еквівалентний питомий опір двошарового ґрунту за певною формулою.

$$\rho_{екв} = \frac{\rho_1 \cdot \rho_2 \cdot l}{\rho_1 \cdot (t + l - h_1) + \rho_2 \cdot (h_1 - t)}$$

$$= \frac{750 \cdot 2400 \cdot 4}{750 \cdot (0.8 + 4 - 3) + 240 \cdot (3 - 0.8)} = 383.3 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

Оскільки  $\rho_{екв} > 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ , то  $R_{доп} 0,38 < 4 \cdot \rho_{екв} / 100 = 4 \cdot 383.3 / 100 = 15.3 \text{ Ом}$ , а опір  $R_{шт} 0,38 \text{ кВ}$  штучного заземлювача повинен бути не більше

$$R_{шт} 0,38 = 30 \cdot \rho_{екв} / 100 = 30 \cdot 383.3 / 100 = 115 \text{ Ом}.$$

Визначаємо величину опору  $R_{пр}$  природного заземлювача, в якості якого використовується залізобетонний фундамент будівлі за формулою:



$$R_{np} = 0.5 \cdot \frac{\rho_{ef}}{\sqrt{S_6}}$$

$$\rho_{ef} = \rho_1 \cdot \left( 1 - l^{-\alpha \cdot \frac{h_1}{\sqrt{S_6}}} \right) + \rho_2 \cdot \left( 1 - l^{-\beta \cdot \frac{\sqrt{S_6}}{h_1}} \right) =$$

$$= 750 \cdot \left( 1 - e^{-3.6 \cdot \frac{3}{\sqrt{70}}} \right) + 240 \cdot \left( 1 - e^{-0.1 \cdot \frac{\sqrt{70}}{3}} \right) = 602.132 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$\alpha = 3.6$        $\beta = 0.1$  – оскільки  $\rho_1 > \rho_2$

Тоді

$$R_{np} = 0.5 \cdot \frac{602.132}{\sqrt{70}} = 36 \text{ Ом}$$

Для мережі з напругою 10 кВ вимагається, щоб опір заземлюючого пристрою не перевищував 10 Ом відповідно до Правил встановлення електроустановок. Ця допустима величина опору визначається за формулою, яку наведено в Правилах:

$$R_{g10} = 125 / I_3 \leq 10 \text{ Ом}$$

де

$$I_3 = U(L_{\Pi} + 35L_K) / 350 = 10 (0 + 35 \cdot 0.5) / 350 = 0.5 \text{ А}$$

Тоді  $R_{д10} = 125 / 0.5 = 250 \text{ Ом} > 10 \text{ Ом}$ , тоді приймаємо  $R_{д10} = 10 \text{ Ом}$ . Оскільки  $R_{np} > R_{д10} \text{ Ом}$ , то величину опору  $R_{шт10}$  штучного заземлювача визначається, згідно зі схемою заміщення, за формулою

$$R_{шт10} = R_{\Pi} \cdot R_{д} / (R_{\Pi} + R_{д}) = 36 \cdot 10 / (36 + 10) = 13.8 \text{ Ом}$$

Після порівняння значень  $R_{шт10}$  і  $R_{шт0.38}$ , ми використовуємо менше значення, тобто  $R_{шт10} = 13.8 \text{ Ом}$ , яке задовольняє вимоги як для мережі 0.38 кВ, так і для мережі 10 кВ.

Далі ми визначаємо опори вертикальних і горизонтальних елементів заземлювача. Опір  $R_B$  одного вертикального заземлювача визначається за

допомогою формули:

$$R_B = \frac{K_c \cdot \rho_{екв}}{2\pi \cdot l} \cdot \left( \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4h+l}{4h-l} \right) = 1270 \text{ Ом}$$

де  $K_c = 1,15$  — це коефіцієнт сезонності

$$h = t + 0,5 \cdot l = 0,8 + 0,5 \cdot 4 = 2,8 \text{ м}$$

Провідність вертикального стержня буде:

$$g_B = 1/R_B = 1/127 = 0,008 \text{ См}$$

Визначаємо попередню кількість вертикальних стержнів без урахування екранування між ними.

$$n = R_B / R_{шт} = 127 / 13,8 = 9,2 \text{ м.}$$

Приймається, що заземлювач складається з дванадцяти вертикальних стержнів, які утворюють квадрат зі стороною 12,5 метрів, та горизонтальних елементів довжиною 50 метрів. Для визначення опору горизонтальних елементів спочатку проводиться лінійна інтерполяція для визначення еквівалентного опору

грунту.

1.  $\rho_1 / \rho_2 = 2, h_1 = 3 \text{ м}, l_r = 50 \text{ м}$

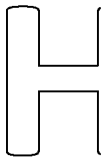
$$\rho_1 / \rho_2 = 1,70 + \frac{3,66 - 1,70}{5 - 2} \cdot (3,13 - 2) = 2,44$$

Тоді

$$\rho_{ег} = 2,44 \cdot \rho_2 = 2,44 \cdot 240 = 585 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

Визначаємо опір горизонтального елемента заземлювача за формулою

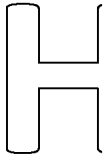
$$R_{Г} = \frac{K_c \cdot \rho_{ег}}{2\pi \cdot l_r} \cdot \ln \frac{2 \cdot l^2}{b \cdot t}$$



$$R_{\Gamma} = \frac{2 \cdot 585}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} \cdot \ln \cdot \frac{2 \cdot 50^2}{0.04 \cdot 0.8} = 44.6 \text{ Ом}$$

де  $K_c = 2$  - це коефіцієнт сезонності для горизонтального елемента

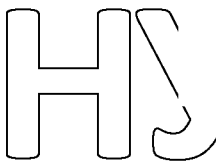
Провідність горизонтального елемента заземлювача буде становити:



$$g_{\Gamma} = 1/R_{\Gamma} = 1/44.6 = 0.02 \text{ См.}$$

Значення коефіцієнта використання  $\eta$  знаходимо шляхом послідовної лінійної інтерполяції

1.  $\rho_1/\rho_2 = 3, n = 12, h_1/l = 0.5, a/l = 0.8$  між  $a/l = 0.5$  і  $a/l = 1$



$$\eta = 0.463 + \frac{0.524 - 0.463}{1 - 0.5} \cdot (0.8 - 0.5)$$

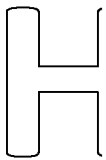
2.  $\rho_1/\rho_2 = 3, n = 12, h_1/l = 1, a/l = 0.8$  між  $a/l = 0.5$  і  $a/l = 1$

$$\eta = 0.483 + \frac{0.598 - 0.483}{1 - 0.5} \cdot (0.8 - 0.5)$$



$$\eta = 0.55$$

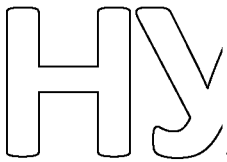
3.  $\rho_1/\rho_2 = 3, n = 12, a/l = 0.8, h_1/l = 0.75$  між  $h_1/l = 0.5$  і  $h_1/l = 1$



$$\eta = 0.5 + \frac{0.55 - 0.5}{1 - 0.5} \cdot (0.8 - 0.5)$$

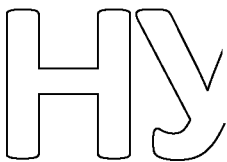
$$\eta = 0.53$$

4.  $\rho_1/\rho_2 = 10, n = 12, h_1/l = 0.5, a/l = 0.8$  між  $a/l = 0.5$  і  $a/l = 1$

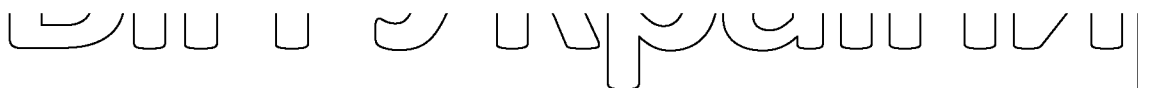


$$\eta = 0.533 + \frac{0.671 - 0.533}{1 - 0.5} \cdot (0.8 - 0.5)$$

$$\eta = 0.62$$



5.  $\rho_1/\rho_2 = 10, n = 12, h_1/l = 1, a/l = 0.8$  між  $a/l = 0.5$  і  $a/l = 1$



$$\eta = 0.604 + \frac{0.689 - 0.604}{1 - 0.5} \cdot (0.8 - 0.5)$$

$$\eta = 0.66$$

6.  $\rho_1/\rho_2 = 10$ ,  $n = 12$ ,  $h_1/l = 0.75$ ,  $a/l = 0.8$  між  $a/l = 0.5$  і  $a/l = 1$

$$\eta = 0.62 + \frac{0.66 - 0.62}{1 - 0.5} \cdot (0.8 - 0.5)$$

$$\eta = 0.64$$

7.  $\rho_1/\rho_2 = 3.13$ ,  $n = 12$ ,  $h_1/l = 0.75$ ,  $a/l = 0.8$  між  $\rho_1/\rho_2 = 3$  і  $\rho_1/\rho_2 = 10$

$$\eta = 0.53 + \frac{0.64 - 0.53}{10 - 3} \cdot (3.13 - 3)$$

$$\eta = 0.532$$

Тоді опір штучного заземлювача трансформаторної підстанції визначаємо за

формулою:

$$R_{шт} = 1/\eta (n \cdot g_b + g_r) = 5.6 \text{ Ом} < 13.8 \text{ Ом.}$$

Отже умова виконується.

Штучний заземлювач складається з 12 вертикальних стержнів довжиною 4 метри та діаметром 0,012 метри, які утворюють замкнутий контур. Цей контур з'єднується горизонтальною штангою довжиною 50 метрів.

НУБІП України

НУБІП України

## ВИСНОВКИ

НУБІП України

Були обґрунтовані характеристики внутрішнього електромережевого

устаткування, такі як марки та переріз проводів, потужність трансформаторної підстанції та вибір електроустаткування, яке включає вимикачі, роз'єднувачі, трансформатори струму та запобіжники. Для забезпечення надійного постачання

НУБІП України

електроенергії об'єктів використовується комбінована система енергопостачання з використанням двох джерел енергії: дизельної електростанції та вітрової

електроустановки. З метою зниження споживання електроенергії застосовується

НУБІП України

комбінована система енергопостачання, яка включає в себе вітрову електроустановку та резервне живлення від централізованої системи або дизельної електростанції у період безвітря. Були розраховані параметри електричної мережі

для населеного пункту, включаючи вибір захисних та комутаційних пристроїв, з

урахуванням максимального струму та втрати напруги. Також було визначено

НУБІП України

потужність компенсуючого устаткування для компенсації реактивного навантаження вітрової установки та споживачів.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України