

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

**НУБІП України**

УДК 621.311.1

**ПОГОДЖЕНО**

Директор Інституту енергетики,  
автоматики і енергозбереження

/Капун В.В./

(підпис)

«    »      2021 р.

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**

Завідувач кафедри  
електропостачання

ім. проф. В.М. Синькова

/Козирський В.В./

(підпис)

«    »      2021 р.

**НУБІП України**

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему: «Зовнішнє електропостачання житлового багатоквартирного  
будинку із реконструкцією трансформаторної підстанції напругою 10/0,4  
кВ»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(код і назва)

Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

**НУБІП України**

Гарант освітньої програми  
д.т.н., професор Жильцов А.В.

(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

**Керівник магістерської кваліфікаційної роботи**

к.т.н., доцент  
(науковий ступінь та вчене звання)

Петренко А.В.

(підпис)

(ПІБ)

**Виконав**

Тищенко В.В.

(підпис)

(ПІБ)

**НУБІП України**

**КИЇВ – 2021**

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

електропостачання ім. проф. В.М. Синькова

д.т.н. професор \_\_\_\_\_ Козирський В.В.

(ступінь, звання) (підпис) \_\_\_\_\_ (ПІБ)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

**ЗАВДАННЯ**

**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ**

**Тищенко Василю Валентиновичу**

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(код і назва)

Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(назва)

Орієнтація освітньої програми \_\_\_\_\_ освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської роботи «Зовнішнє електропостачання житлового багатоквартирного будинку із реконструкцією трансформаторної підстанції напругою 10/0,4 кВ» затверджена наказом ректора Національного університету біоресурсів і природокористування України від 01.02.2021 р. № 175 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру \_\_\_\_\_ 2021.11.01

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи ситуаційний план, схема мережі 10 кВ, електричні навантаження, схема трансформаторної підстанції до реконструкції, проект повторного застосування

Перелік питань, що підлягають дослідженню: Аналіз вимог до виконання зовнішнього електропостачання та реконструкції трансформаторної підстанції. Зовнішнє електропостачання житлового багатоквартирного будинку. Реконструкція трансформаторної підстанції напругою 10/0,4 кВ. Вибір структури та вибір електричної схеми. Техніко-економічна ефективність прийнятих рішень. Організаційні і технічні заходи з охорони праці в електричній мережі

Перелік графічного матеріалу: презентація виконана в програмному забезпеченні MS Power Point

Дата видачі завдання «14» січня 2021 р.

Керівник магістерської роботи \_\_\_\_\_

(підпис)

Петренко А.В. \_\_\_\_\_

(ПІБ)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_

(підпис)

Тищенко В.В. \_\_\_\_\_

(ПІБ)

## РЕФЕРАТ

Метою магістерської роботи є створення економічно доцільної системи електропостачання міста та забезпечення необхідної якості комплексного електропостачання усіх електроприймачів та споживачів житлового багатоквартирного будинку шляхом розробки зовнішнього електропостачання з реконструкцією трансформаторної підстанції у відповідності до діючих нормативних документів та стандартів.

Об'єктом дослідження є зовнішні електричні мережі та трансформаторна підстанція від яких отримує житловий багатоквартирний будинок.

Предметом дослідження є взаємозв'язок параметрів зовнішніх електричних мереж, трансформаторної підстанції та житлового багатоквартирного будинку.

У роботі здійснено розрахунок електричних навантажень на вводах у житлові будівлі, розташовані на території мікрорайону, а також навантажень вуличного освітлення. Крім того, визначено, з урахуванням коефіцієнтів участі в максимумі навантажень, загальне електричне навантаження, за яким знайдено потужність трансформаторних підстанцій та їх кількість. З урахуванням допустимого коефіцієнта навантаження трансформаторів у післяаварійному режимі, об'єкти електропостачання у мікрорайоні були розподілені між прийнятими трансформаторними підстанціями. Будинки в безпосередній близькості, від яких знаходиться ТП, слід жити окремими лініями і не включати ці будівлі до магістральних схем. Розподільна мережа низької напруги виконується за двопроменевою схемою (для споживачів I та II категорії), яка є найбільш надійною та простою для даної забудови мікрорайону та радіальною схемою для споживачів III категорії.

Ключові слова: електропостачання, трансформаторна підстанція, реконструкція, зовнішні електричні мережі.

## ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	7
РОЗДІЛ 2 ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ РАЙОНУ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	10
2.1 Розрахунок навантажень житлових будинків	10
2.2 Розрахунок навантаження освітлення	14
2.3 Визначення споживання потужності в районі електропостачання	15
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ПОГУЖНОСТІ ТА ВИБІР ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ПІДСТАНЦІЇ 10/0,4 КВ	19
3.1 Вихідні дані та положення	19
3.2 Розрахунок потужності та вибір трансформаторної підстанції	19
3.3 Визначення навантаження та місця розташування підстанції	21
РОЗДІЛ 4 ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУРИ ТА ВИБІР СХЕМ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ 0,4 І 10 КВ	28
4.1 Розрахунок та вибір перерізу кабелів 0,4 кВ	29
4.2 Перевірка кабельних ліній за допустимими умовами	29
4.3 Визначення терміну окупності зовнішніх кабельних мереж 0,4 кВ	37
4.4 Розрахунок та вибір перерізу кабелів 10 кВ	43
4.5 Перевірка кабельних ліній 10 кВ за допустимими умовами	46
РОЗДІЛ 5 ОЦІНКА ЯКОСТІ НАПРУГИ НА ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧАХ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ	53
РОЗДІЛ 6 ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ	63
6.1 Загальні положення з охорони праці	63

6.2	Захист людей від ураження електричним струмом	66
6.3	Розрахунок та улаштування контуру заземлення проєктованої трансформаторної підстанції	69
ВИСНОВКИ		72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ		74

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## ВСТУП

# НУБІП України

На сьогоднішньому етапі розвитку сучасного суспільства електрична енергія та централізоване тепlopостачання стали невід'ємною частиною нашого повсякденного життя. Без них важко уявити життя сучасного міста або населеного пункту, які є потужними споживачами електроенергії в країні. Від

# НУБІП України

того наскільки раціонально запроєктована система електропостачання міста залежить ефективність функціонування великої кількості міських та промислових об'єктів, розташованих на його території.

# НУБІП України

Споживачі електроенергії у житлових будинках, розташованих на території міста, умовно поділяються на дві основні групи: житлові будинки та суцільно-комунальні заклади. Споживання електричної енергії у житлових

# НУБІП України

будинках визначається структурою життя населення міста. У сучасних житлових будинках використовується велика кількість різних електроприймачів, які поділяються на електроприймачі квартир та електроприймачі загальнобудинкового призначення.

# НУБІП України

Метою даної магістерської роботи є створення економічно доцільної системи електропостачання міста та забезпечення необхідної якості комплексного електропостачання усіх електроприймачів та споживачів

# НУБІП України

житлового багатоквартирного будинку шляхом розробки зовнішнього електропостачання з реконструкцією трансформаторної підстанції у відповідності до діючих нормативних документів та стандартів.

# НУБІП України

Об'єктом дослідження є зовнішні електричні мережі та трансформаторна підстанція від яких отримує житловий багатоквартирний будинок.

# НУБІП України

Предметом дослідження є взаємозв'язок параметрів зовнішніх електричних мереж, трансформаторної підстанції та житлового багатоквартирного будинку.

# НУБІП України

# РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Під системою електропостачання міста мається на увазі сукупність електричних мереж та трансформаторних підстанцій, розташованих на території міста та призначених для електропостачання його споживачів.

Основні показники системи визначаються місцевими умовами: розмірами міста, наявністю джерел живлення, характеристиками споживачів.

Живлення міських споживачів здійснюється за допомогою розподільчих мереж 6-10 кВ та 0,4 кВ, які отримують електроенергію від джерел живлення.

Трансформаторні підстанції з трансформаторами різної потужності живлять розподільчу мережу 0,4 кВ, схема побудови якої залежить від характеру споживачів. Для живлення промислових підприємств та комунально-побутових споживачів можуть застосовуватися самостійні підстанції, не пов'язані з мережею загального користування. Залежно від відповідальності споживачів трансформаторні підстанції можуть бути автоматизованими, тобто укомплектовуватися пристроями автоматичного перемикання живлення споживачів на резервну лінію при випадковому виході з ладу основної лінії.

З розглянутого випливає, що основні показники системи електропостачання міста визначаються його розмірами, параметрами енергосистеми, характеристиками споживачів та іншими місцевими особливостями.

Об'єктом електропостачання є багатоквартирний житловий будинок для працівників КП «Київський метрополітен» та ПАТ «Київметробуд» з об'єктами соціальної інфраструктури, будівництво якого заплановано по

проспекту Голосіївському, 74 у Голосіївському районі міста Києва. Усі житлові будинки мають поверховість вище двадцяти поверхів та обладнані електроплитами для приготування їжі. У складі мікрорайону міста також наявні суспільні будівлі. Подача гарячої води та опалення будівель здійснюється від теплоелектроцентралі. Схема забудови мікрорайону наведена на рисунку 1.1.

Вихідні дані зазначені в таблиці 1.1

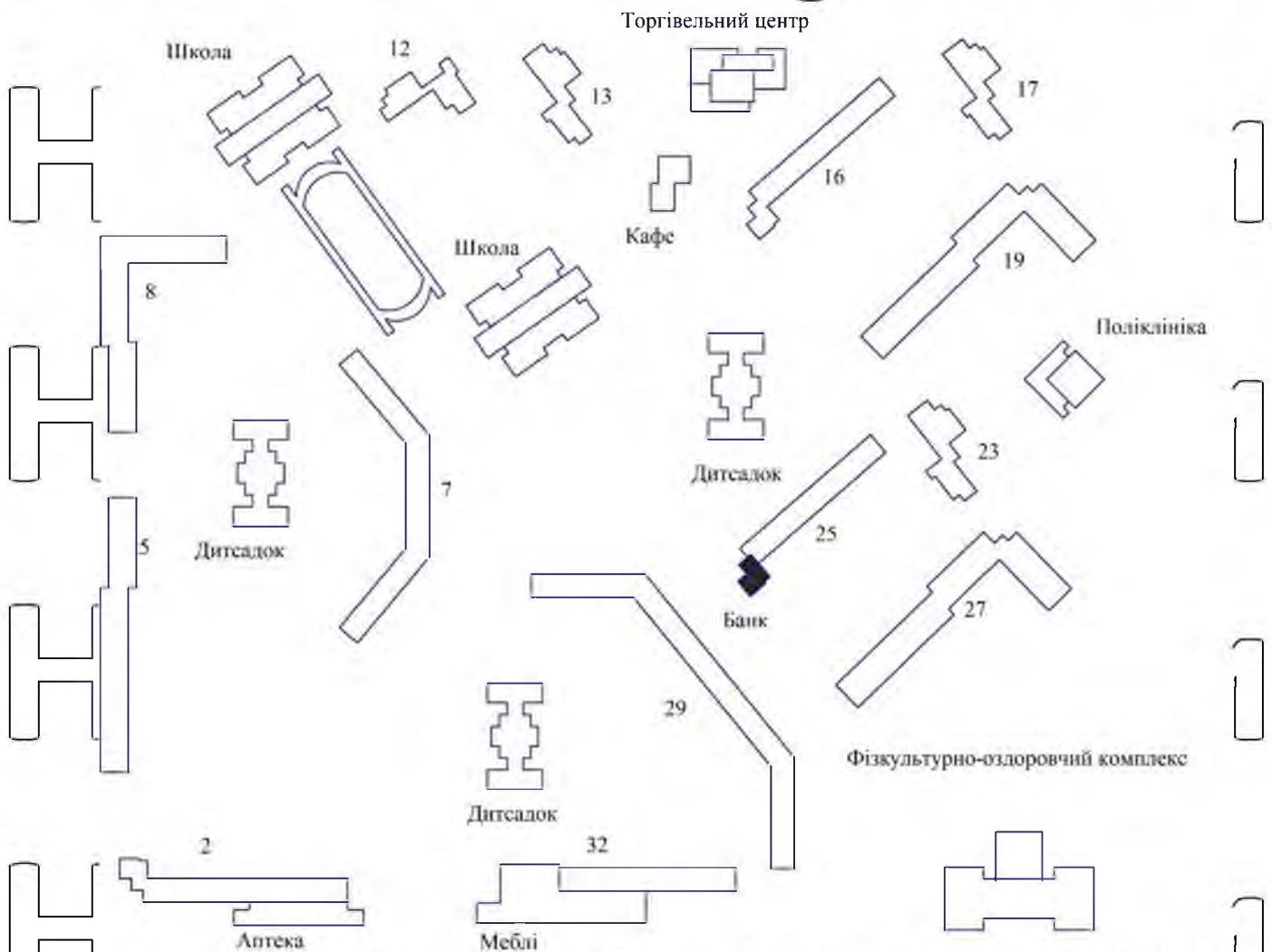


Рис. 1.1 Схема забудови мікрорайону.



Таблиця 1.1

## Дані будівель мікрорайону

№ будівлі	тип будівлі	Кількісний показник
	Житлові будівлі	
12, 13, 17	Житлові будинки типової забудови	17 поверхів; ліфти: 2x7 кВт на 1 секцію
2, 5, 32, 8, 16, 19, 25, 27	Житлові будинки типової забудови	12 поверхів; ліфти: 2x4,5 кВт на 1 секцію
7, 29	Житлові будинки типової забудови	14 поверхів; ліфти: 2x7 кВт на 1 секцію
	Комунально-побутові споживачі	
Банк	Банк	$P_{розр} = 25$ кВт; $k_y = 0,9$ ; $\cos \varphi = 0,9$
Поліклініка	Поліклініка	800 відв/зміну
Аптека	Аптека	$P_{розр} = 30$ кВт; $k_y = 0,9$ ; $\cos \varphi = 0,9$
Дитсадок	Дитсадок	По 150 люд.
Кафе	2 зали	На 20+30 місць
Школа	Школа з електрифікованою столовою та спортзалом	1100 люд.
Торгівельний центр з кондиціонуванням	Торгівельний центр (2 поверхи)	За площею
Магазин	Меблі	За площею
Фізкультурно-оздоровчий комплекс	Фізкультурно-оздоровчий комплекс	$P_{розр} = 300$ кВт; $k_y = 0,9$ ; $\cos \varphi = 0,9$

# РОЗДІЛ 2 ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ РАЙОНУ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

## Розрахунок навантажень житлових будинків

Розрахунок електричних навантажень міських споживачів відбувається від нижчих до вищих ступенів системи електропостачання [2] та включає два етапи:

1) визначення навантаження на вводі до кожного споживача;

2) розрахунок навантаження на основі навантаження окремих елементів мережі.

За даною методикою розраховує активне навантаження від квартир на вводі в будівлю, при напрузі 0,4 кВ, яке обчислюємо залежно від кількості квартир за виразом:

$$P_{p(кв)} = P_{кв.пит} \cdot n_{кв} \quad (2.1)$$

де  $P_{кв.пит}$  - питоме розрахункове навантаження квартири [2] табл. 2.1, кВт;

$n_{кв}$  - кількість квартир.

Розрахункове навантаження на вводі житлової будівлі визначається за виразом:

$$P_{p(ж.буд)} = P_{p(кв)} + k_{н.м} \cdot P_c \quad (2.2)$$

де  $P_c$  - розрахункове навантаження силових електроприймачів житлового будинку, кВт;

$k_{н.м}$  - коефіцієнт, що враховує неспівпадіння максимумів навантажень

квартир та силових електроприймачів, приймається рівним 0,9.

Розрахункове навантаження силових електроприймачів  $P_c$  на вводі в будівлю складається з:

а) навантаження ліфтових установок:

$$P_{p(l)} = k_{c(l)} \sum_{i=1}^{n_l} P_{л(i)} \quad (2.3)$$

де  $k_{c(l)}$  - коефіцієнт попиту ліфтових установок [2] табл.2.2;

$n_l$  - число ліфтових установок;

$P_{л(i)}$  - встановлена потужність електродвигуна  $i$ -го ліфта згідно паспорту, кВт;

б) навантаження електродвигунів насосів водопостачання, вентиляторів та інших санітарно-технічних пристроїв

Повне розрахункове навантаження житлових будинків, КВА, визначається з урахуванням середньозважених коефіцієнтів потужності:

$$S_{p(ж.буд)} = \sqrt{\frac{(P_{p(кв)} + k_{н.м.} P_c)^2 + (P_{p(кв)} \text{tg} \phi_{кв} + k_{н.м.} P_c \text{tg} \phi_c)}{2}}, \quad (2.4)$$

де  $\text{tg} \phi_{кв}$  - середньозважений коефіцієнт потужності квартир [2] табл.2.3;

$\text{tg} \phi_c$  - номінальний коефіцієнт потужності силових електроприймачів [2]

табл. 2.3.

Розрахункові навантаження на ввіді в суспільні будівлі та вбудовані у житлові будинки підприємства визначаються за укрупненими питомими навантаженнями згідно виразу:

$$P_{p(заг)} = P_{p(підп)} = P_{п.т.п.д.п.} M, \quad (2.5)$$

де  $P_{п.т.п.д.п.}$  - питоме розрахункове навантаження одиниці кількісного показника (робоче місце, посадкове місце, площа торговельного залу, м<sup>2</sup> і тому подібне).

$M$  - кількісний показник, що характеризує пропускну здатність підприємства, об'єми виробництва та інше.

Повне навантаження на ввіді в суспільну будівлю визначається з урахуванням середньозважених коефіцієнтів потужності для споживачів даного підприємства.

Розрахункові навантаження ліній до 1000 В та трансформаторних підстанцій, що живлять групи житлових та суспільних будівель визначаються сумуванням розрахункових навантажень будівель

$$P_{рп.лп} = P_{р(найб)} + \sum_{j=1}^{m-1} k_{у.м(j)} P_{буд(j)} \quad (2.6)$$

де  $P_{р(найб)}$  - найбільше розрахункове навантаження однієї з суспільних будівель або сумарне навантаження житлових будівель з однаковим типом кухонних плит, що живляться на даній лінії або трансформаторній підстанції, визначається за сумарною кількістю квартир та ліфтових установок, що живляться від лінії або від трансформаторної підстанції за формулами (2.1),

(2.2), кВт;

$P_{буд(j)}$  - розрахункові навантаження інших ( $j$ ) будівель, що живляться від лінії або трансформаторної підстанції, кВт;

$k_{у.м(j)}$  - коефіцієнти участі в максимумі навантажень споживачів відносно невеликого навантаження.

В якості прикладу знайдемо навантаження на ввіді в будинок №32. У будинку розташований магазин «Меблі» з площею торговельного залу  $M=1724 \text{ м}^2$ . З першого по дванадцятий поверхи займають житлові квартири, загальна кількість яких складає  $n_{кв}=192$ . Будинок оснащений електричними плитами. З силових електроприймачів у будинку наявні 8 ліфтових установок загальною встановленою потужністю 4,5 кВт.

Згідно даним [2] табл. 2.1, для дванадцятиповерхових будинків з електричними плитами питома потужність квартири за кількості квартир до

200 складає  $P_{\text{шт. кв}} = 1,36$  кВт при коефіцієнті потужності  $\cos\phi_{\text{кв}} = 0,98$ . Тоді розрахункова потужність від квартир на ввід в будівлю дорівнює:

$$P_{\text{р(кв)}} = P_{\text{кв,уд}} \cdot n_{\text{кв}} = 1,36 \times 192 = 261,12 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{р(кв)}} = P_{\text{р(кв)}} \cdot \text{tg}\phi_{\text{кв}} = 261,12 \times 0,2 = 53,02 \text{ квар.} \quad (2.7)$$

Коефіцієнт попиту ліфтових установок [2] табл. 2.4 за наявності восьми ліфтів приймаємо рівним 4,5 за коефіцієнту потужності  $\cos\phi_{\text{л}} = 0,65$ . Тоді розрахункова потужність ліфтів дорівнює:

$$P_{\text{р(л)}} = k_{\text{с(л)}} \sum_{i=1}^{n_{\text{л}}} P_{\text{л}(i)} = 4,5 \times 8 \times 0,5 = 18 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{р(л)}} = P_{\text{р(л)}} \cdot \text{tg}\phi_{\text{л}} = 18 \times 1,17 = 21,1 \text{ квар.} \quad (2.8)$$

Потужність санітарно-технічних пристроїв визначається за формулою:

$$P_{\text{ст.пр}} = 0,05 \cdot n_{\text{кв}} \cdot 0,05 \cdot 92 = 9,6 \text{ кВт}, \quad (2.9)$$

$$Q_{\text{ст.пр}} = P_{\text{ст.пр}} \cdot \text{tg}\phi = 9,6 \times 0,75 = 7,2 \text{ квар} \quad (2.10)$$

Розрахункове навантаження силових електроприймачів  $P_{\text{с}}$  на ввід в будівлю складає:

$$P_{\text{с}} = 9,6 + 18 = 27,6 \text{ кВт}$$

Розрахункове навантаження на ввід житлового будинку при коефіцієнті неспівпадіння максимумів навантажень квартир та силових електроприймачів 0,9 дорівнює:

$$P_{\text{р(ж.буд)}} = 261,12 + 0,9 \times 27,6 = 285,96 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{р(ж.буд)}} = Q_{\text{кв}} + k_{\text{шт}} Q_{\text{с}} = 53,02 + 0,9(21,1 + 7,2) = 78,44 \text{ квар.} \quad (2.11)$$

$$S_{\text{р(ж.буд)}} = \sqrt{P_{\text{р(ж.буд)}}^2 + Q_{\text{р(ж.буд)}}^2} = \sqrt{285,96^2 + 78,44^2} = 296,52 \text{ кВА} \quad (2.12)$$

Згідно даних [2] табл. 2.5 питоме навантаження магазину «Меблі» без кондиціонування повітря приймаємо рівним  $0,14 \text{ кВт/м}^2$  при коефіцієнті потужності  $\cos\phi=0,92$ . Розрахункове навантаження магазину:

$$P_{p(p)} = 0,14 \times 1724 \times 0,9 = 217,2 \text{ кВт};$$

$$Q_{p(p)} = P_{p(p)} \operatorname{tg}\phi_{p(p)} = 217,2 \times 0,43 = 93,31 \text{ квар.}$$

$$S_{p(p)} = \sqrt{P_{p(p)}^2 + Q_{p(p)}^2} = \sqrt{217,2^2 + 93,31^2} = 236,33 \text{ кВА}$$

## 2.2. Розрахунок навантаження освітлення

У складі споживачів електроенергії мікрорайону міста слід враховувати зовнішнє електропостачання вулиць, проїздів, площ, бульварів та внутрішньоквартальних незабудованих територій. Орієнтовні розрахунки їх електричних навантажень були виконані за наступними даними:

Магістральні вулиці районного значення, площі перед потужними будівлями:  $30-50 \frac{\text{кВт}}{\text{км}}$ ; внутрішньоквартальні території:  $1,2 \frac{\text{кВт}}{\text{га}}$ . Вулиці районного значення, автостоянок та парковок:  $8 \frac{\text{кВт}}{\text{га}}$ .

Розрахункова активна потужність зовнішнього освітлення внутрішньоквартальних територій мікрорайону:

$$P_{\text{вк}} = F_{\text{вк}} P_{\text{пит.кв.}} = 1,2 \times 25,92 \times 0,8 = 24,88 \text{ кВт} \quad (2.13)$$

де  $P_{\text{пит.кв}}$  – для внутрішньоквартальних територій;

$F_{\text{вк}}$  – площа внутрішньоквартальних територій.

Розрахункова активна потужність зовнішнього освітлення вулиць районного значення мікрорайону:

$$P_{\text{пит}} = P_{\text{вул.пит}} L = 1,4 \times 40 = 56 \text{ кВт} \quad (2.14)$$

де  $P_{\text{вул.пит}} = 40 \frac{\text{кВт}}{\text{км}}$  – для вулиць;

$L = 1,4 \text{ км}$  – довжина вулиць районного значення мікрорайону.

Також ми враховуємо освітлення стадіону площею 2000 м<sup>2</sup> та зони відпочинку, галогеновими прожекторами (згідно ДБН приймаємо питоме навантаження 2,03 кВт/м<sup>2</sup>).

$$P_{ст} = F_{ст} P_{шт.} = 2,3 \times 2500 = 5,8 \text{ кВт} \quad (2.15)$$

Розрахункове навантаження вуличного освітлення дорівнює:

$$P_{вул.осв.} = P_{ст} + P_{вул.} + P_{лк} = 24,88 + 56 + 5,8 = 86,68 \text{ кВт} \quad (2.16)$$

$$Q_{вул.осв.} = 41,6 \text{ квар}$$

$$S_{вул.осв.} = 96,14 \text{ кВА}$$

### 2.3. Визначення споживання потужності в районі електропостачання

Розрахункові електричні навантаження мікрорайону в цілому або його частин, що включають групу будівель, слід визначати за сумарною кількістю квартир, ліфтових установок житлових будівель, суспільних будівель певного призначення з урахуванням при цьому відповідних коефіцієнтів, що характеризують неспівпадіння максимумів навантажень споживачів.

Сумарна кількість квартир дорівнює – 3608.

Сумарна кількість ліфтів дорівнює 86 потужністю 4,5 кВт та 50 ліфтів потужністю 7 кВт.

Сумарне активне розрахункове електричне навантаження усіх житлових будівель мікрорайону визначається за формулою:

$$P_{мр.} = P_{кв.мр.} + k_y(P_{л.мр.} + P_{ст.мр.}) + \sum(k_{y_i} * P_{супс.буд.і}) + P_{вул.осв} \quad (2.17)$$

Сумарне реактивне розрахункове електричне навантаження усіх житлових будівель мікрорайону визначається за формулою:

$$Q_{мр.} = Q_{кв.мр.} + k_y(Q_{л.мр.} + Q_{ст.мр.}) + \sum(k_{y_i} * Q_{супс.буд.і}) + Q_{вул.осв} \quad (2.18)$$

де  $P_{супс.буд.і}$  – розрахункові електричні навантаження суспільних будівель;

$k_{vi}$  – коефіцієнти участі в максимумі електричних навантажень суспільних будівель та житлових будинків.

Таким чином, розрахункове активне навантаження мікрорайону:

$$P_{\text{мр.}} = 3608 \cdot 1,19 + 0,9 \cdot (7 \cdot 50 \cdot 0,4 + 4,5 \cdot 86 \cdot 0,4 + 180,4) + 1450 + 86,68 = 6257,88 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{мр.}} = 4598 \cdot 0,2 + 0,9 \cdot (390,5 \cdot 1,17 + 180,4 \cdot 0,75) + 947,3 + 41,6 = 2441,47 \text{ квар.}$$

Сумарне розрахункове повне навантаження мікрорайону:

$$S_{p(\text{мр.})} = \sqrt{P_{p(\text{мр.})}^2 + Q_{p(\text{мр.})}^2} = \sqrt{6257,88^2 + 2441,47^2} = 6717,3 \text{ кВА}$$

Розрахунок навантаження житлових будинків на шинах 0,4 кВ

трансформаторної підстанції по району вказаний в таблиці 2.1. Розрахунок

навантажень закладів культурно-побутового призначення наведений в таблиці 2.2.



Таблиця 2.1

Розрахунок навантажень житлових будинків по району 0,4 кВ міських трансформаторних підстанцій

№ будинку	Кількість секцій	Кількість квартир	Кількість квартир	$P_{\text{пл.уд}}$ кВт/к	$\cos\varphi$	$P_{\text{кв}}$ кВт	$Q_{\text{кв}}$ квар	$\eta$	$P_{\text{н}}$ кВт	$k_c$	Ліфти $\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	$P_{\text{л}}$ кВт	$Q_{\text{л}}$ квар	$P_{\text{ст.у}}$ кВт	$Q_{\text{ст.у}}$ квар	$P_c$ кВт	$P_{\text{р(ж. буд.)}}$ кВт	$Q_{\text{р(ж. буд.)}}$ квар	$S_{\text{р(ж. буд.)}}$ кВА
12	3	17	204	1,27	0,98	259,08	52,61	6	7	0,75	0,65	1,17	31,5	36,82	6,8	5,1	41,7	296,6	92,63	310,7
13	3	17	204	1,27	0,98	259,08	52,61	6	7	0,75	0,65	1,17	31,5	36,82	6,8	5,1	41,7	296,6	92,63	310,7
17	3	17	204	1,27	0,98	259,08	52,61	6	7	0,75	0,65	1,17	31,5	36,82	6,8	5,1	41,7	296,6	92,63	310,7
23	3	17	204	1,27	0,98	259,08	52,61	6	7	0,75	0,65	1,17	31,5	36,82	6,8	5,1	41,7	296,6	92,63	310,7
2	6	12	288	1,27	0,98	365,76	74,27	12	4,5	0,4	0,65	1,17	21,6	25,25	14,4	10,8	36	398,2	106,71	412,2
5	6	12	288	1,27	0,98	365,76	74,27	12	4,5	0,4	0,65	1,17	21,6	25,25	16,8	12,6	36	398,2	106,71	412,2
32	4	12	192	1,36	0,98	261,12	53,02	8	4,5	0,5	0,65	1,17	18	21,1	9,6	7,2	27,6	286	78,44	296,5
8	6	12	288	1,27	0,98	365,76	74,27	12	4,5	0,4	0,65	1,17	21,6	25,25	16,8	12,6	36	398,5	106,71	412,2
16	5	12	240	1,27	0,98	304,8	61,89	10	4,5	0,5	0,65	1,47	22,5	26,3	12	9	34,5	335,9	93,67	348,7
19	6	12	288	1,27	0,98	365,76	74,27	12	4,5	0,4	0,65	1,17	21,6	25,25	16,8	12,6	36	398,5	106,71	412,2
25	4	12	192	1,36	0,98	261,12	53,02	8	4,5	0,5	0,65	1,17	18	21,1	9,6	7,2	27,6	286	78,44	296,5
27	6	12	288	1,27	0,98	365,76	74,27	12	4,5	0,4	0,65	1,17	21,6	25,25	16,8	12,6	36	398,5	106,71	412,2
7	5	14	280	1,27	0,98	355,6	72,21	10	7	0,6	0,65	1,17	42	49,1	16,8	12,6	56	406	125,85	425,1
29	8	14	448	1,23	0,98	551,04	111,9	16	7	0,5	0,65	1,17	56	65,47	28	21	78,4	621,6	185,94	648,8
<b>Всього</b>		<b>3608</b>				<b>4598</b>	<b>934</b>	<b>136</b>	<b>78</b>				<b>390,5</b>	<b>456,5</b>	<b>180,4</b>	<b>135,3</b>	<b>570,9</b>	<b>5113</b>	<b>1466</b>	<b>5320</b>

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

Таблиця 2.2

Розрахунок навантажень закладів культурно-побутового призначення по мікрорайону.

Назва закладу	M (продуктивність)	Од. вим.	$\frac{P_{пл}}{кВт}$	$\cos\varphi$	$P_{пл}$ кВт	$Q_{пл}$ квар	$k_{у,м}$	$P_{р(бул)}$ кВт	$Q_{р(бул)}$ квар	$S_{р(бул)}$ кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Аптека	30	кВт		0,9	30	14,52	0,9	27	14,53	30,67
Меблі	1724	м <sup>2</sup>	0,14	0,92	241,4	102,82	0,9	217,2	102,82	240,33
Банк	25	кВт		0,9	25	12,11	0,9	22,5	12,11	25,55
Поліклініка	800	відв/зм.	0,46	0,85	368	228,07	0,7	257,6	228,07	344,05
Дитсадок	150	люд	0,4	0,97	60	15,04	0,4	24	15,04	28,32
Дитсадок	150	люд	0,4	0,97	60	15,04	0,4	24	15,04	28,32
Дитсадок	150	люд	0,4	0,97	60	15,04	0,4	24	15,04	28,32
Кафе	20+30	місць	0,9	0,95	45	14,79	0,6	27	14,79	30,79
Школа	1100	люд	0,25	0,95	275	90,39	0,4	110	90,39	142,37
Школа	1100	люд	0,25	0,95	275	90,39	0,4	110	90,39	142,37
ТЦ	1315x2	м <sup>2</sup>	0,16	0,9	420,8	203,80	0,8	336,6	203,80	393,53
ФОК	300	кВт		0,9	300	145,30	0,9	270	145,30	306,61
<b>Всього</b>								<b>1450</b>	<b>947,3</b>	<b>1741,2</b>

## РОЗДІЛ 3

## РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ТА ВИБІР ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ПІДСТАНЦІ 10/0,4 кВ

**. Вихідні дані та положення**

Трансформаторні підстанції 10/0,4 кВ виконуються з одним або двома понижуючими трансформаторами. Однотрансформаторні трансформаторні підстанції за вимогою надійності електропостачання можуть застосовуватися як у житлових районах малоповерхових забудов, так і за наявності багатоповерхівок. Разом з тим за наявності дев'яти поверхів та більше може бути економічно обґрунтованим застосування двотрансформаторних трансформаторних підстанцій з трансформаторами потужністю по 400 та 630 кВА.

Аналіз та визначення економічної потужності трансформаторних підстанцій здійснюється шляхом обліку техніко-економічних показників не лише трансформаторних підстанцій, але і розподільчих мереж напругою до 1 кВ, що живляться від трансформаторних підстанцій або ділянок мережі 10 кВ.

Основною вихідною інформацією, що визначає економічну потужність трансформаторної підстанції, є поверхнева густина навантажень, конструктивне виконання трансформаторної підстанції та ліній напругою до 1 кВ, а також вартість основного електричного обладнання.

**Розрахунок потужності та вибір трансформаторної підстанції**

Поверхнева густина навантажень мікрорайону обчислюється за формулою:

$$\sigma = S_p / F_{\text{мкр}} \quad (3.1)$$

де  $S_p$  - повна розрахункова потужність споживачів мікрорайону, кВА;

$F_{\text{мкр}}$  - площа території мікрорайону згідно генерального плану забудови, км<sup>2</sup>;

$$\sigma = 6717,2/0,26=25,8 \text{ МВА/км}^2 > 8,0 \text{ МВт/км}^2$$

Орієнтовні значення економічно доцільної встановленої потужності ТП 10/0,4 кВ та кількості відхідних від ТП ліній 380В визначається за формулами.

$$S_{e.тп} = 1,45\sqrt{s^2},$$

$$S_{e.тп} = 1,45\sqrt{25,8^2} = 1266 \text{ кВА}$$

$$M_e = 1,65 \cdot 10^{-2} \sqrt{25,8^2} = 14,41$$

У житлових районах міст рекомендується застосування трансформаторів 10/0,4 кВ-630 кВА. Таким чином, при  $S_{e.тп} > 1000$  кВА доцільно встановлювати у містах дві трансформаторні підстанції по 630 кВА. Відповідно, двотрансформаторні трансформаторні підстанції можуть застосовуватися не лише з міркувань вимог надійності, але і за умовами економічності з урахуванням умов експлуатації, а також полегшення електроапаратури на стороні 380В.

При взаємному резервуванні трансформаторів 10/0,4 кВ вибір номінальної потужності цих трансформаторів проводиться з урахуванням допустимого перевантаження у післяаварійному режимі до 160%.

Виходячи з умов взаємного резервування, доцільно встановлювати двотрансформаторні трансформаторні підстанції, щоб на виході з ладу одного трансформатора трансформаторної підстанції інший трансформатор окремо або з трансформаторами сусідніх трансформаторних підстанцій, що резервуються по лінії низької напруги, працюючи деякий час з перевантаженням зміг пропустити усю потужність потрібну для споживачів.

За умовами нормального режиму роботи число трансформаторів міських трансформаторних підстанцій повинно бути не меншим

$$N = \frac{S_p}{k_3 S_{HT}}, \quad (3.4)$$

де  $S_p$  - розрахункове навантаження мікрорайону, кВА;

$S_{HT}$  - прийнята номінальна потужність трансформаторів у мікрорайоні, кВА;

$k_3$  - коефіцієнт завантаження в нормальному режимі роботи, що приймається залежно від категорії надійності споживача електроенергії, при переважанні споживачів II категорії коефіцієнт навантаження може бути прийнятим  $k_3 = 0,7 \div 0,8$  [1].

$$N = \frac{6717,2}{0,8 \cdot 630 \cdot 2} = 7$$

$$N = \frac{6717,2}{0,8 \cdot 1000 \cdot 2} = 4,2$$

$$N = \frac{6717,2}{0,8 \cdot 1250 \cdot 2} = 3,4$$

Приймаємо 8-ТП (2x630)кВА (1 варіант)

Приймаємо 5-ТП (2x1000)кВА (2 варіант)

Приймаємо 4-ТП (2x1250)кВА (3 варіант)

Варіант 1 немає сенсу розглядати, так як кількість трансформаторних підстанцій вдвічі більша ніж у варіанті 3.

### 3.3. Визначення навантаження та місця розташування підстанції

Економічно доцільно розташовувати трансформаторну підстанцію на території мікрорайону що приблизно відповідає «центру навантажень», що живляться кожною підстанцією. «Центр навантажень» визначається

аналогічно центру тяжкості на площині, де розташовані сили ваги певної

групи мас. Трансформаторна підстанція повинна бути розташована поблизу внутрішньоквартальних проїздів на відстані не менше 10 м від будівель, але

не повинна бути спорудженою в центральних частинах зони озеленення, відпочинку, спортивних та дитячих майданчиків, а також на «червоних лініях» квадратів. Якщо одна з будівель розглянутої зони має суттєво більше навантаження, то трансформаторну підстанцію слід розташовувати поблизу такої будівлі.

Приклад розрахунку для трансформаторної підстанції 1 за варіантом 2.

Сумарне активне розрахункове електричне навантаження усіх будівель, що обслуговуються ТП1:

$$P_{рТП1} = P_{кв.ТП1} + k_y (P_{л.ТП1} + P_{ст.ТП1}) + \epsilon \sum_{i=1}^n (k_{yi} \Psi_{суп.буді}) \quad (3.5)$$

$$P_{рТП1} = 772 \cdot 1,19 + 0,9(16 \cdot 7 \cdot 0,5 + 12 \cdot 4,5 \cdot 0,4 + 38,6) + (0,4 \cdot 275)^2 = 1243 \text{ кВт}$$

Сумарне реактивне розрахункове електричне навантаження усіх будівель, що обслуговуються ТП1:

$$Q_{рТП1} = Q_{кв.ТП1} + k_y (Q_{л.ТП1} + Q_{ст.ТП1}) + \epsilon \sum_{i=1}^n (k_{yi} \Psi_{суп.буді}) \quad (3.6)$$

$$Q_{рТП1} = 199,1 + 0,9(111,08 + 1,17 + 194,75) + (0,4 \cdot 275)^2 = 401,2 \text{ кВар}$$

Повне сумарне реактивне електричне навантаження будівель, що обслуговуються ТП1 визначається за формулою:

$$S_{рТП1} = \sqrt{P_{рТП1}^2 + Q_{рТП1}^2} \quad (3.7)$$

$$S_{рТП1} = \sqrt{1243^2 + 401,2^2} = 1433 \text{ кВА}$$

Коефіцієнт завантаження ТП 1 розраховується за наступною формулою:

$$K_{зТП1} = \frac{S_{зТП1}}{S_{вст}}$$

$$K_{зТП1} = \frac{1433}{24000} = 0,72 \quad (3.8)$$

Розрахунок для решти трансформаторних підстанцій проводиться аналогічно, результат розрахунку наведений в таблицях 3.1-3.2.

Таблиця 3.1

Розрахунок 5-ТП (2x1000)кВА

№ ТП	Розрахункова потужність, кВА	Коефіцієнт завантаження ТП
1	1433	0,72
2	1394	0,70
3	1417	0,71
4	1446	0,72
5	1368	0,68

Таблиця 3.2

Розрахунок 4-ТП (2x1250)кВА

№ ТП	Розрахункова потужність, кВА	Коефіцієнт завантаження ТП
1	1740	0,70
2	1786	0,71
3	1843	0,74
4	1689	0,68

Розрахунок центрів навантажень груп споживачів проводиться з урахуванням наступних умов:

- за початок координат приймається лівий нижній кут меж мікрорайону;

- у зв'язку з різноманітною формою житлових та суспільних будівель, відстань від початку координат обирається до передбачуваного геометричного центру кожної будівлі.

Центр електричних навантажень проектного району визначається за

формулами:

$$x_{\text{ц}} = \frac{\sum S_{p,i} x_i}{\sum S_{p,i}}, y_{\text{ц}} = \frac{\sum S_{p,i} y_i}{\sum S_{p,i}} \quad (3.9)$$

де  $x_{\text{ц}}$ ,  $y_{\text{ц}}$  - координати центру електричних навантажень,

$S_{p,i}$  - розрахункове навантаження  $i$ -го споживача;

$x_i$ ,  $y_i$  - координати центру навантажень  $i$ -го споживача.



Приклад розрахунку координат «центру навантажень групи споживачів, що обслуговується трансформаторною підстанцією ТП1 (варіант №2).

$$x_{пл} = \frac{444 \cdot 310,74 + 335 \cdot 412,21 + 238 \cdot 425,06 + 429 \cdot 142,37 + 332 \cdot 142,37}{310,74 + 412,21 + 425,06 + 142,37 + 142,37} = 136,01$$
$$y_{пл} = \frac{185 \cdot 310,74 + 38 \cdot 412,21 + 168 \cdot 425,06 + 106 \cdot 142,37 + 238 \cdot 142,37}{310,74 + 412,21 + 425,06 + 142,37 + 142,37} = 135,08$$

Розрахунок для решти трансформаторних підстанцій проводиться аналогічно і результати розрахунку зводимо в таблиці 3.3.-3.4.

Кінцеве місце розташування усіх трансформаторних підстанцій представлено на рис. 3.1 для варіанту 2 та на рис. 3.2 для варіанту 3.

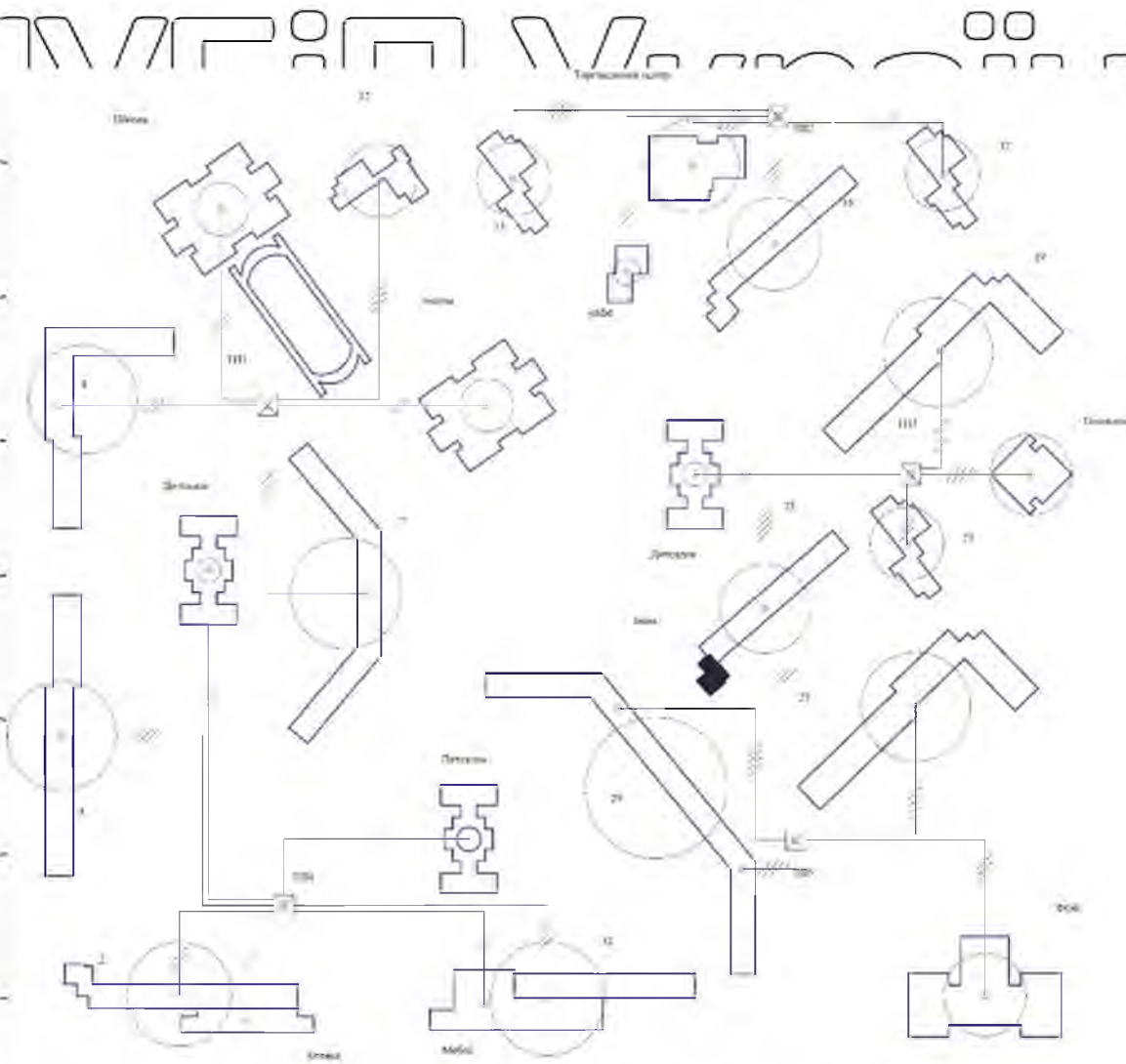


Рис. 3.1. Схема живлення об'єктів 0,4 кВ згідно 2-го варіанту



Таблиця 3.3

Другий варіант

№ об'єкту	X	Y	S	X <sub>Ц</sub>	Y <sub>Ц</sub>
ТП1 S=1433кВА, k <sub>3</sub> =0,72					
12	444	185	310,74	338,91	135,08
8	335	38	412,21		
7	238	168	425,06		
Школа	429	106	142,37		
Школа	332	238	142,37		
ТП2 S=1394кВА, k <sub>3</sub> =0,70					
13	444	252	310,74	437,41	358,19
16	412	381	348,67		
17	447	465	310,74		
Кафе	398	308	30,786		
ТЦ	451	341	393,53		
ТП3 S=1417кВА, k <sub>3</sub> =0,71					
19	359	464	412,21	292,52	449,08
23	262	447	310,74		
25	230	377	321,48		
Дитячий садок	294	342	28,322		
Поліклініка	297	509	344,05		
ТП4 S=1446кВА, k <sub>3</sub> =0,72					
5	167	27	412,21	78,73	142,61
2	34	97	442,11		
32	36	268	534,84		
Дитячий садок	249	100	28,32		
Дитячий садок	116	229	28,32		
ТП5 S=1368кВА, k <sub>3</sub> =0,68					
27	181	452	412,21	130,25	397,21
29	141	322	648,81		
ФОК	38	486	306,61		

Таблиця 3.4

Третій варіант

№ об'єкту	X	Y	S	X <sub>Ц</sub>	Y <sub>Ц</sub>
ТП1 S=1740кВА, k <sub>з</sub> =0,7					
12	444	185	310,74	398,7	185,86
13	444	252	310,74		
8	335	38	412,21		
Дитячий садок	249	100	28,32		
Школа	332	238	142,37		
Школа	429	106	142,37		
ТЦ	451	341	393,53		
ТП2 S=1786кВА, k <sub>з</sub> =0,71					
17	447	465	310,74	355,6	451,1
23	263	447	310,74		
16	412	381	348,67		
19	359	464	412,21		
Поліклініка	297	509	344,05		
Дитячий садок	294	342	28,32		
Кафе	398	308	30,79		
ТП3 S=1843кВА, k <sub>з</sub> =0,74					
5	167	27	412,21	119,4	145,7
7	238	168	425,06		
2	34	97	442,11		
32	36	268	534,84		
Дитячий садок	116	229	28,32		
ТП4 S=1689кВА, k <sub>з</sub> =0,68					
27	181	452	416,33	149,9	389,7
29	141	322	648,81		
25	230	377	321,48		
ФОК	38	486	306,61		

## РОЗДІЛ 4 ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУРИ ТА ВИБІР СХЕМ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ 0,4 і 10 КВ

До складу споживачів електроенергії мікрорайону входять електроприймачі I категорії надійності. Тому для їх забезпечення будуть застосовані радіальні та магістральні двопроменеві схеми мереж.

Застосування двох паралельних магістральних ліній забезпечує надійність живлення, необхідну для споживачів II категорії лише у відповідності з секціонуванням шин ВРП 380В будівлі. Надійність, необхідна для споживачів I категорії за даною схемою забезпечується лише за умови встановлення АВР на вводі до електроприймача.

Внутрішньоквартальні траси ліній намічаються з урахуванням обраного розташування будівель мікрорайону. Ці траси повинні в основному розташовуватися вздовж контурів будівель, під пішохідними доріжками, по можливості, не перегинати зони озеленення, спортивні та дитячі майданчики і тому подібні.

Будівлі, в безпосередній близькості від яких розташована трансформаторна підстанція, слід живити окремими лініями та не включати ці будівлі до магістральних мереж.

Переріз жил кабелю 380В має обиратися за відповідними розрахунковими електричними навантаженнями ліній у нормальному та післяаварійному режимах роботи на основі технічних обмежень допустимого нагрівання та допустимих втрат напруги, а також з урахуванням застосування мінімальних перерізів за умовами механічної міцності (за умовами монтажу та експлуатації). Для прокладання в мережах 380В обраний кабель з пластмасовою ізоляцією типу АПвБШп.

Магістраль, що живить групу споживачів, розбивається на дві ділянки. Перша ділянка, розрахована на усю групу споживачів, виконується більшим перерізом, ніж переріз другої ділянки, розрахований на частину навантаження.

#### 4.1. Розрахунок та вибір перерізу кабелів 0,4 кВ

У розподільних мережах 380 В буде прийнято чотирижильний кабель з алюмінієвими жилами та пластмасовою ізоляцією.

Приклад для розрахунку будинку №12.

Розрахунок найбільшого струму в нормальному режимі роботи:

$$I_{\text{розр}} = \frac{S}{\sqrt{3} U_{\text{ном}} n} \quad (4.1)$$

де  $S$  – потужність навантаження кабелю, кВА;

$U_{\text{ном}}$  – номінальна напруга кабелю, кВ;

$n$  – кількість кабелів.

$$I_{\text{розр.ТПП-буди12}} = \frac{310,74}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 118,03 \text{ А}$$

Розрахунок струмів нормального режиму для решти кабельних ліній проводимо аналогічно та результати заносимо в табл. 4.1-4.2.

#### 4.2. Перевірка кабельних ліній за допустимими умовами

Провідники будь-якого призначення повинні задовольняти вимогам у відношенні до гранично допустимого нагрівання з урахуванням не лише нормальних, але і післяварійних режимів, а також режимів в періоди ремонту та можливих нерівномірностей розподілу струму між лініями, секціями шин та тому подібних ситуацій. В якості післяварійного режиму застосовується режим при пошкодженні одного променя магістралі.

Розрахунок найбільшого струму у післяварійному режимі роботи:

$$I_{\text{розр}}^{\text{П.АВ.}} = \frac{S^{\text{П.АВ.}}}{\sqrt{3} U_{\text{ном}} n^{\text{П.АВ.}}} \quad (4.2)$$

де  $S^{\text{П.АВ.}}$  – потужність навантаження кабелю у післяаварійному режиму роботи, кВА;

$U_{\text{ном}}$  – номінальна напруга кабелю, кВ;

$n^{\text{П.АВ.}}$  – кількість кабелів у післяаварійному режимі роботи

$$I_{\text{розр}}^{\text{П.АВ.}} = \frac{310,74}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 2} = 236,064$$

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{доп.табл.}} \cdot k_n \cdot k_t \cdot k_{\text{зав.}}, \quad (4.3)$$

де  $I_{\text{доп.табл.}}$  – допустимий тривалий струм для кабелів з алюмінієвими жилами з пластмасовою ізоляцією, що прокладаються у землі.

$I_{\text{доп.табл. 120(3)}} = 295$  А для трижильних алюмінієвих кабелів з пластмасовою ізоляцією, у нашому розрахунку приймається кабель чотирижильний, згідно

ПУЕ п.1.3.7. тривалодопустимі струмові навантаження для чотирижильних

кабелів до 1 кВ з гумовою або пластмасовою ізоляцією застосовується коефіцієнт 0,92

$$I_{\text{доп.табл. 120(4)}} = I_{\text{доп.табл. 120(3)}} \cdot k = 295 \cdot 0,92 = 271,4 \text{ А}$$

$k_n$  – коефіцієнт прокладання, який враховує кількість кабелів, прокладених в траншеї, дані наведені у таблиці 1.3.26 [8].

Коригуючий коефіцієнт на кількість працюючих кабелів, що прокладені поряд у землі (в трубах або без труб)  $k_n$ :

Відстань між кабелями у світлі, мм <sup>2</sup>	Коефіцієнт при кількості кабелів					
	1	2	3	4	5	6
100	1	0,9	0,85	0,8	0,78	0,75

$k_t$  – поправні коефіцієнти на струми при розрахунковій температурі середовища, приймаються рівними 1,06 [8] табл. 1.3.3.

$k_{\text{зав.}} = 0,7$  – коефіцієнт завантаження в нормальному режимі;

$k_{\text{зав.}} = 1,15$  – коефіцієнт завантаження у післяаварійному режимі,

$$I_{\text{доп}} = 271,4 \cdot 0,8 \cdot 1,06 \cdot 0,7 = 161,14$$

$$I_{\text{П.ХВ. доп}} = 271,4 \cdot 0,9 \cdot 1,06 \cdot 1,15 = 297,754$$

Відповідно, обираємо до прокладання чотири кабелі перерізом  $120 \text{ мм}^2$ .

Допустимі втрати напруги в мережах  $0,4 \text{ кВ}$  в нормальних режимах не повинні перевищувати  $5\%$ .

Втрати напруги визначаємо за наступною формулою:

$$\Delta U = \frac{(P \cdot r_0 + Q \cdot x_0)}{U_{\text{ном}}} \cdot l \quad (4.4)$$

де  $r_0, x_0$  – активний та реактивний опори на одиницю довжини лінії;

$l$  – довжина лінії, км.

$$\Delta U = \frac{\Delta U}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\% \quad (4.5)$$

Приклад розрахунку наведений для будинку №12:

Сумарні втрати напруги від ТП1 до будівлі №12 будуть рівні:

$$\Delta U_{\text{лін.1}} = \frac{(296,61 \cdot 0,258 + 92,64 \cdot 0,076)}{0,38 \cdot 4} \cdot 0,16 = 8,79 \text{ В}$$

$$DU_{\text{лін.1}\%} = \frac{8,79}{380} \cdot 100 = 2,31\%$$

Вибір перерізу решти кабельних ліній проводимо аналогічно та результати заносимо в таблиці 4.1-4.2.



Таблиця 4.1

Результати розрахунку згідно другого варіанту

КЛ	К-ть кабелів	P	Q	S, кВ А	Інб, А	Іп/а В, А	F, мм <sup>2</sup>	Ідо П, А	Ідо п таб л.	Кое ф. для 4-х жил	Інб/І доп	кп	кt	кп ер	кп ер	Ідоп' (НР)	Ідоп' (п/ав)	г кл, Ом/ км	хкл, Ом/ км	L, км	ΔU нр, %	Δ U па /в, %
1 ТП																						
Буд. 12	4	296,61	92,64	310,74	118,03	236,06	120,00	271,40	295,00	0,92	0,43	0,80	1,06	0,7	1,1	161,10	297,75	0,258	0,076	0,16	2,31	4,63
Буд. 8	4	398,16	106,72	412,21	156,57	313,15	185,00	354,20	385,00	0,92	0,44	0,80	1,06	0,7	1,1	210,25	388,59	0,167	0,073	0,1	1,29	2,57
Буд. 7	4	406	125,85	425,06	161,45	322,90	185,00	354,20	385,00	0,92	0,46	0,80	1,06	0,7	1,1	210,25	388,59	0,167	0,073	0,14	1,87	3,73
Школ а	2	110	90,39	142,37	108,16	216,31	120,00	271,40	295,00	0,92	0,40	0,90	1,06	0,7	1,1	181,24	330,84	0,258	0,076	0,1	1,34	2,69
Школ а	2	110	90,39	142,37	108,16	216,31	120,00	271,40	295,00	0,92	0,40	0,90	1,06	0,7	1,1	181,24	330,84	0,258	0,076	0,1	1,34	2,69
2 ТП																						
Буд. 13	4	296,61	92,64	310,74	118,03	236,06	120,00	271,40	295,00	0,92	0,43	0,80	1,06	0,7	1,1	161,10	297,75	0,258	0,076	0,16	2,31	4,63
Буд. 17	4	296,61	92,64	310,74	118,03	236,06	120,00	271,40	295,00	0,92	0,43	0,80	1,06	0,7	1,1	161,10	297,75	0,258	0,076	0,1	1,45	2,89
Буд. 16	4	335,85	93,67	348,67	132,44	264,87	150,00	271,40	295,00	0,92	0,49	0,80	1,06	0,7	1,1	161,10	297,75	0,206	0,074	0,06	0,79	1,58
Кафе	2	27	14,79	30,79	23,39	46,77	25,00	105,80	115,00	0,92	0,22	0,90	1,06	0,7	1,1	70,65	128,97	1,24	0,091	0,15	1,81	3,62
ТЦ	4	336,64	203,80	393,53	149,47	298,95	150,00	308,80	335,00	0,92	0,48	0,80	1,06	0,7	1,1	182,95	338,13	0,206	0,074	0,06	0,88	1,75

3 ТП																							
Буд.	23	4	296,6	92,6	310,74	118,03	286,06	120,00	271,40	295,00	0,92	0,43	0,80	1,06	0,7	1,1	161,10	297,75	0,258	0,076	0,03	0,43	0,87
Буд.	19	4	398,1	106,72	412,21	156,57	313,15	185,00	354,20	385,00	0,92	0,44	0,80	1,06	0,7	1,1	210,25	388,59	0,167	0,073	0,07	0,90	1,80
Буд.	25	4	286	78,4	296,50	112,62	225,24	120,00	271,40	295,00	0,92	0,41	0,80	1,06	0,7	1,1	161,10	297,75	0,258	0,076	0,03	1,79	3,59
Банк		2	22,5	12,1	25,5	19,4	38,8	25,0	105,80	115,00	0,92	0,18	0,90	1,06	0,7	1,1	70,65	128,97	1,24	0,091	0,07	1,71	3,41
Полік		4	257,6	228,07	344,05	130,68	261,37	120,00	271,40	295,00	0,92	0,48	0,80	1,06	0,7	1,1	161,10	297,75	0,258	0,076	0,54	0,78	1,57
Дитса	док	2	24	15,0	28,3	21,5	43,0	25,0	105,80	115,00	0,92	0,20	0,90	1,06	0,7	1,1	70,65	116,07	1,24	0,091	0,01	1,08	2,16
4 ТП																							
Буд.	5	4	398,1	106,72	412,21	156,57	313,15	185,00	354,20	385,00	0,92	0,44	0,80	1,06	0,7	1,1	210,25	388,59	0,167	0,073	0,09	2,44	4,89
Буд.	2	4	398,2	106,71	412,20	156,57	313,14	150,00	308,20	335,00	0,92	0,51	0,80	1,06	0,7	1,1	182,95	338,13	0,206	0,074	0,08	1,25	2,49
Буд.	32	4	398,2	106,71	412,20	156,57	313,14	150,00	308,20	335,00	0,92	0,51	0,80	1,06	0,7	1,1	182,95	338,13	0,206	0,074	0,07	2,65	5,29
Аптека		2	27	14,5	30,6	23,3	46,6	25,0	105,80	115,00	0,92	0,22	0,90	1,06	0,7	1,1	70,65	128,97	1,24	0,091	0,06	0,72	1,45
Меблі		2	271,2	103,82	240,30	182,55	365,10	185,00	354,20	385,00	0,92	0,52	0,90	1,06	0,7	1,1	236,53	431,77	0,167	0,073	0,03	2,38	4,76
Дитса	док	2	24	15,0	28,3	21,5	43,0	25,0	105,80	115,00	0,92	0,20	0,90	1,06	0,7	1,1	70,65	128,97	1,24	0,091	0,02	1,29	2,59
Дитса	док	2	24	15,0	28,3	21,5	43,0	25,0	105,80	115,00	0,92	0,20	0,90	1,06	0,7	1,1	70,65	128,97	1,24	0,091	0,07	1,83	3,66
5 ТП																							
Буд.	27	4	398,1	106,72	412,21	156,57	313,15	150,00	308,20	335,00	0,92	0,51	0,80	1,06	0,7	1,1	182,95	338,13	0,206	0,074	0,01	1,87	3,74

Буд. 29 с 1-4	4	310,8	93,0 0	324, 41	123, 22	246, 45	120, 00	271, 40	295, 00	0,92	0,45	0,80	1, 06	0,7	1,1 5	161,1 0	297,75	0,167	0,073	0,1 4	1,42	2,8 5
Буд. 29 с 5-8	4	310,8	93,0 0	324, 41	123, 22	246, 45	120, 00	271, 40	295, 00	0,92	0,45	0,80	1, 06	0,7	1,1 5	161,1 0	297,75	0,167	0,073	0,0 3	0,30	0,6 1
ФОК	4	270	145, 30	306, 61	116, 46	232, 92	120, 00	271, 40	295, 00	0,92	0,43	0,80	1, 06	0,7	1,1 5	161,1 0	297,75	0,258	0,076	0,1 7	2,38	4,7 5

Таблиця 4.2

Результати розрахунку згідно третього варіанту

КЛ	К-ть кабелів	P	Q	S, кВА	Інб, А	Іп/а в, А	F, м м <sup>2</sup>	Ідо п, А	Ідо п та бл.	Кое ф. для 4-х жил	Ін б/ Ід оп	кп кп	кп кп	Ідоп'( НР)	Ідоп'( п/ав)	г кл, Ом/к м	хкл, Ом/к м	L, км	ΔUn р, %	ΔUpa /в, %	
СТП																					
Буд. 12	4	296,6	92,63 83	310,7 4	118, 08	236,0 6	12 0	271, 4	295	0,92	0,4 3	1,0 0,8	0,7 6	1,1 5	161,10	297,75	0,258	0,076	0,0 1	0,14	0,29
Буд. 8	4	398,2	106,7 19	412,2 14	156, 57	313,1 5	18 5	354, 2	385	0,92	0,4 4	1,0 0,8	0,7 6	1,1 5	210,25	388,59	0,167	0,073	0,2 2	2,83	5,66
Буд. 13	4	288,4	83,06 31	300,1 4	114, 00	228,0 1	12 0	271, 4	295	0,92	0,4 2	1,0 0,8	0,7 6	1,1 5	161,10	297,75	0,258	0,076	0,1 1	1,54	3,07
Школа	2	110	90,38 8	142,3 7	108, 15	216,3 1	12 0	271, 4	295	0,92	0,4 0	1,0 0,9	0,7 6	1,1 5	181,24	330,84	0,258	0,076	0,1 1	1,34	2,69
Школа	2	110	90,4 7	142,3 7	108, 15	216,3 1	12 0	271, 4	295	0,92	0,4 0	1,0 0,9	0,7 6	1,1 5	181,24	330,84	0,258	0,076	0,1 1	1,34	2,69
Дитсад к	2	24	15,03 74	28,32 2	21,5 2	43,03 25	105, 8	115, 8	115	0,92	0,2 0	1,0 0,9	0,7 6	1,1 5	70,65	128,97	1,24	0,091	0,2 3	2,48	4,96

ТЦ	4	336,6	203,8	393,5	149,48	298,95	150	308,2	335	0,92	0,8	0,8	1,0	1,1	182,95	338,13	0,206	0,074	0,2	1	3,07	6,14
2 ТЦ																						
Буд. 23	4	296,6	92,63	310,7	118,03	235,06	120	271,4	295	0,92	0,3	0,8	1,0	1,1	161,10	297,75	0,258	0,076	0,0	9	1,30	2,60
Буд. 17	4	296,6	92,63	310,7	118,03	235,06	120	271,4	295	0,92	0,3	0,8	1,0	1,1	161,10	297,75	0,258	0,076	0,2	3	3,33	6,66
Буд. 16	4	335,9	93,66	348,6	132,67	264,84	150	271,4	295	0,92	0,9	0,8	1,0	1,1	161,10	297,75	0,206	0,074	0,1	2	1,58	3,16
Буд. 19	4	398,2	106,7	412,2	156,14	313,15	185	354,2	385	0,92	0,4	0,8	1,0	1,1	210,25	388,59	0,167	0,073	0,1	4	1,80	3,60
Полікл.	4	257,6	228,0	344,0	130,68	261,36	120	271,4	295	0,92	0,8	0,8	1,0	1,1	161,10	297,75	0,258	0,076	0,1	2	1,74	3,48
Дитсадок	2	24	15,03	28,32	21,52	43,03	25	105,8	115	0,92	0,0	0,9	1,0	1,1	70,65	128,97	1,24	0,091	0,0	4	0,43	0,86
Кафе	2	27	14,79	30,78	23,39	46,77	25	105,8	115	0,92	0,2	0,9	1,0	1,1	70,65	128,97	1,24	0,091	0,1	7	2,05	4,10
3 ТЦ																						
Буд. 5	4	398,2	106,7	412,2	156,14	313,15	185	354,2	385	0,92	0,4	0,8	1,0	1,1	210,25	388,59	0,167	0,073	0,1	6	2,06	4,12
Буд. 7	4	406	125,8	425,0	161,58	322,90	185	354,2	385	0,92	0,6	0,8	1,0	1,1	210,25	388,59	0,167	0,073	0,1	7	2,27	4,53
Дитсадок	2	24	15,03	28,32	21,52	43,03	25	105,8	115	0,92	0,0	0,9	1,0	1,1	70,65	128,97	1,24	0,091	0,0	8	0,86	1,72
Буд. 2	4	398,2	106,7	412,2	156,0	313,14	150	308,2	335	0,92	0,5	0,8	1,0	1,1	182,95	338,13	0,206	0,074	0,1	3	2,02	4,05
Буд. 32	4	398,2	106,7	412,2	156,0	313,14	150	308,2	335	0,92	0,5	0,8	1,0	1,1	182,95	338,13	0,206	0,074	0,2	0,2	3,11	6,23
Аптека	2	27	14,53	30,67	23,30	46,60	25	105,8	115	0,92	0,2	0,9	1,0	1,1	70,65	128,97	1,24	0,091	0,1	0,1	1,21	2,41
Меблі	2	271,2	103,8	240,3	182,55	365,10	185	354,2	385	0,92	0,5	0,9	1,0	1,1	236,53	431,77	0,167	0,073	0,1	5	2,75	5,49

4 ТП																							
Буд. 25	4	286	78,44	296,5	112,62	225,24	12	271,4	295	0,92	0,4	1,0	1,1	161,10	297,75	0,258	0,076	0,1	2	1,66	3,31		
Буд. 27	4	398,2	106,719	412,214	156,57	313,15	15	308,2	315	0,92	0,5	1,0	1,1	182,95	338,13	0,206	0,074	0,1	2	1,87	3,74		
Буд. 29 с 1-4	4	310,8	93,00	324,41	123,22	246,45	12	271,4	295	0,92	0,4	1,0	1,1	161,10	297,75	0,167	0,073	0,1	4	1,42	2,85		
Буд. 29 с 5-8	4	310,8	93,00	324,41	123,22	246,45	12	271,4	295	0,92	0,4	1,0	1,1	161,10	297,75	0,167	0,073	0,0	3	0,30	0,61		
Банк	2	22,5	12,11	19,4	25,55	1	38,82	25	105,8	115	0,92	0,1	0,9	1,0	1,1	70,65	128,97	1,24	0,091	0,1	1	1,10	2,21
ФОК	4	270	145,297	306,61	116,46	232,92	12	271,4	295	0,92	0,4	1,0	1,1	161,10	297,75	0,258	0,076	0,1	7	2,38	4,75		

### Визначення терміну окупності зовнішніх кабельних мереж 0,4 кВ

Опишемо загальні особливості розрахунку:

- мережа споруджується впродовж одного року, тобто,  $K_{t=1} = K_{S_{мер}}$  и

$$K_{t=2...T_p} = 0$$

- починаючи з другого року мережа експлуатується з проектним рівнем завантаження.

- відрахування на реновацію не враховуються.

Дисконтовані затрати дорівнюють

$$Z_{д} = K_{S_{мер}} + (V'_{експ.С} + B_{\Delta e}) \sum_{t=2}^{T_p} \frac{1}{(1+E)^{t-1}} \quad (4.6)$$

де  $E = 10\%$  - норматив дисконтування,

$T_p = 10$  років - розрахунковий період,

$V'_{експ.С}$  - витрати на експлуатацію мережі без обліку відрахувань на реновацію,

$B_{\Delta e}$  - витрати на відшкодування втрат електроенергії,

$K_{S_{мер}}$  - сумарні капіталовкладення в мережу.

Сумарні капіталовкладення в мережу визначаються як:

$$K_{\Sigma_{мер}} = K_{\Sigma_{кл}} + K_{\Sigma_{мл}} \quad (4.7)$$

де  $K_{\Sigma_{кл}} = \sum_{i=1}^n K_{\text{ліні}_i}$  - сумарні капіталовкладення в лінії електропередавання.

Капіталовкладення в одну лінію визначаються за формулою:

$$K_{\text{ліні}} = (k_0 \cdot n_{кл} + V_{TR} \cdot k_{TR} + V_{ЗАС} \cdot k_{ЗАС} + k_{ПР.К} \cdot n_{кл}) \cdot L_{\text{ліні}} \quad (4.8)$$

де  $k_0$  - питомі капіталовкладення в лінію з зазначеними параметрами;

$k_{TR}$  - вартість розкопування траншеї, 1100 грн./м<sup>3</sup>

$k_{ЗАС}$  - вартість зворотного засипання траншеї 350 грн./м<sup>3</sup>

$k_{ПР.К}$  - вартість прокладання кабелю 75000 грн./км

Таблиця 4.3

Вартість кабелю Ко

Переріз жили, мм <sup>2</sup>	25	120	150	185
Ко, грн/км	97 900	292 000	345 000	407 000

$$K_{\text{лин}} = (292000 \cdot 4 + 630 \cdot 100 + 432 \cdot 150 + 75000 \cdot 4) \cdot 0,16 = 369952 \text{ грн.}$$

Для решти ліній результати зводимо в таблиці 4.3-4.4

Таблиця 4.4

Результати розрахунку другого варіанту

КЛ	К-ти	P	Q	S, кВА	F, мм <sup>2</sup>	г кл, Ом/км	L, км	ΔP, кВт	Vтр	Vзас	Ко за 1км	Ккл
1 ТП												
Буд. 12	4	296,61	92,64	310,74	120,00	0,258	0,16	1,73	630	432	292000	369952
Буд. 8	4	398,16	106,72	412,21	185,00	0,167	0,1	1,97	630	432	407000	277220
Буд. 7	4	406	125,85	425,06	185,00	0,167	0,14	2,09	630	432	407000	388108
Школа	2	110	90,39	142,37	120,00	0,258	0,11	0,36	630	432	292000	173602
Школа	2	110	90,39	142,37	120,00	0,258	0,11	0,36	630	432	292000	173602
2 ТП												
Буд. 13	4	296,61	92,64	310,74	120,00	0,258	0,16	1,73	630	432	292000	369952
Буд. 17	4	296,61	92,64	310,74	120,00	0,258	0,1	1,73	630	432	292000	231220
Буд. 16	4	335,85	93,67	348,67	150,00	0,206	0,06	1,73	630	432	345000	151452
Кафе	2	27	14,79	30,79	25,00	1,24	0,15	0,08	630	432	97900	178500
ЦП	4	336,64	203,80	393,53	150,00	0,206	0,06	2,21	630	432	345000	151452
3 ТП												
Буд. 23	4	296,61	92,64	310,74	120,00	0,258	0,03	1,73	630	432	292000	69366
Буд. 19	4	398,16	106,72	412,21	185,00	0,167	0,07	1,97	630	432	407000	194054
Буд. 25	4	286	78,44	296,50	120,00	0,258	0,13	1,57	630	432	292000	300586
Банк	2	22,5	12,11	25,55	25,00	1,24	0,17	0,06	630	432	97900	202300
Полікл.	4	257,6	228,07	344,05	120,00	0,258	0,054	2,11	630	432	292000	124858,8
Дитсадок	2	24	15,04	28,32	25,00	1,24	0,1	0,07	630	432	97900	119000
4 ТП												
Буд. 5	4	398,16	106,72	412,21	185,00	0,167	0,19	1,97	630	432	407000	526718
Буд. 2	4	398,2	106,71	412,20	150,00	0,206	0,08	2,42	630	432	345000	201936
Буд. 32	4	398,2	106,71	412,20	150,00	0,206	0,17	2,42	630	432	345000	429114
Аптека	2	27	14,53	30,67	25,00	1,24	0,06	0,08	630	432	97900	71400
Меблі	2	271,2	103,82	240,30	185,00	0,167	0,13	0,67	630	432	407000	235066
Дитсадок	2	24	15,04	28,32	25,00	1,24	0,12	0,07	630	432	97900	142800
Дитсадок	2	24	15,04	28,32	25,00	1,24	0,17	0,07	630	432	97900	202300
5 ТП												
Буд. 27	4	398,16	106,72	412,21	150,00	0,206	0,12	2,42	630	432	345000	302904
Буд. 29 с 1-4	4	310,8	93,00	324,41	120,00	0,167	0,14	1,22	630	432	292000	323708

Буд. 29 с													
3-8	4	310,8	93,00	324,41	120,00	0,167	0,03	1,22	630	432	292000	69366	
ФОК	4	270	145,30	306,61	120,00	0,258	0,17	1,68	630	432	292000	393074	
												637361	

Таблиця 4.5

## Результати розрахунку третього варіанту

КЛ	ψ	ρ	Q	S, кВА	F, мм <sup>2</sup>	r <sub>кл</sub> , Ом/км	L, км	ΔP, кВт	V <sub>тр</sub>	V <sub>зає</sub>	К <sub>о за</sub> км	Ккл
<b>1 ТП</b>												
Буд. 12	4	296,6	92,6383	310,74	120	0,258	0,09	1,73	630	432	292000	23122
Буд. 8	4	398,2	106,719	412,214	185	0,167	0,22	1,97	630	432	407000	609884
Буд. 13	4	288,4	83,0631	300,14	120	0,258	0,11	1,61	630	432	292000	254342
Школа	2	110	90,388	142,37	120	0,258	0,11	0,36	630	432	292000	173602
Школа	2	110	90,4	142,37	120	0,258	0,11	0,36	630	432	292000	173602
Дитсадок	2	24	15,0374	28,322	25	1,24	0,23	0,07	630	432	97900	273700
ТЦ	4	336,6	203,803	393,53	150	0,206	0,21	2,21	630	432	345000	530082
<b>2 ТП</b>												
Буд. 23	4	296,6	92,6383	310,74	120	0,258	0,09	1,73	630	432	292000	208098
Буд. 17	4	296,6	92,6383	310,74	120	0,258	0,23	1,73	630	432	292000	531806
Буд. 16	4	335,9	93,6672	348,667	150	0,206	0,12	1,73	630	432	345000	302904
Буд. 19	4	398,2	106,719	412,214	185	0,167	0,14	1,97	630	432	407000	388108
Полікл.	4	257,6	228,066	344,05	120	0,358	0,12	2,11	630	432	292000	277464
Дитсадок	2	24	15,0374	28,322	25	1,24	0,04	0,07	630	432	97900	47600
Кафе	2	27	14,7908	30,786	25	1,24	0,17	0,08	630	432	97900	202300
<b>3 ТП</b>												
Буд. 5	4	398,2	106,719	412,214	185	0,167	0,16	1,97	630	432	407000	443552
Буд. 7	4	406	125,851	425,058	185	0,167	0,17	2,09	630	432	407000	471274
Дитсадок	2	24	15,0374	28,322	25	1,24	0,08	0,07	630	432	97900	95200
Буд. 2	4	398,2	106,71	412,20	150	0,206	0,13	2,42	630	432	345000	328146
Буд. 32	4	398,2	106,71	412,20	150	0,206	0,2	2,42	630	432	345000	504840
Аптека	2	27	14,53	30,67	25	1,24	0,1	0,08	630	432	97900	119000
Мебл.	2	271,2	103,82	240,30	185	0,167	0,15	0,67	630	432	407000	271230
<b>4 ТП</b>												
Буд. 25	4	286	78,44	296,50	120	0,258	0,12	1,57	630	432	292000	277464
Буд. 27	4	398,2	106,719	412,214	150	0,206	0,12	2,42	630	432	345000	302904
Буд. 29 с	4	310,8	93,00	324,41	120	0,167	0,14	1,22	630	432	292000	323708
Буд. 29 с	4	310,8	93,00	324,41	120	0,167	0,03	1,22	630	432	292000	69366
3-8	4	310,8	93,00	324,41	120	0,167	0,03	1,22	630	432	292000	69366
Банк	2	22,5	12,11	25,55	25	1,24	0,11	0,06	630	432	97900	130900
ФОК	4	270	145,297	306,61	120	0,258	0,17	1,68	630	432	292000	393074
												7727272

К<sub>ΣТП</sub> – сумарні капіталовкладення в трансформаторну підстанцію визначаються за формулою:

# НУБІП України



# НУБІП України

де  $\Sigma K_{ТП}$  – сумарні капіталовкладення на спорудження трансформаторної підстанції:

# НУБІП України

$$\Sigma K_{ТП} = n_{ТП} \cdot k_{ТП}, \text{ (тис. грн.)}, \quad (4.10)$$

де  $n_{ТП}$  – кількість трансформаторних підстанцій.

Отримуємо:

# НУБІП України

Таблиці 4.6

Результати розрахунків і порівняння варіантів

Варіант мережі	Встановлена потужність трансформаторів, кВА	$K_{ТП}$ , тис. грн	$\Sigma K_{ТП}$ , тис. грн
№ 1	5x(2·1000)	5 700	28 500
№ 2	4x(2·1250)	6 300	25 200

$$K_{S_{мер(2варіант)}} = 6373611 + 28500000 = 34873611 \text{ грн.}$$

$$K_{S_{мер(3варіант)}} = 7727272 + 25200000 = 32927272 \text{ грн.}$$

# НУБІП України

Сумарні витрати без обліку відрахувань на реновацію визначаються

таким чином:

# НУБІП України

$$B'_e = B'_{експл} + B_{De} \quad (4.11)$$

Витрати на експлуатацію без обліку відрахувань на реновацію визначаються за формулою:

$$B'_{експл} = (a_{обс} + a_{к.р.}) C_k, \quad (4.12)$$

$a_{обс}, a_{к.р.}$  – норми відрахувань на обслуговування та капітальний ремонт відповідно.

# НУБІП України

$$V'_{\text{експ.кл}} = (a_{\text{обс}} + a_{\text{кр.}}) \cdot K_{\text{кл}} = 0,023 \cdot K_{\text{кл}}$$

$$V'_{\text{експ.ТП}} = (a_{\text{обс}} + a_{\text{кр.}}) \cdot K_{\text{ТП}} = 0,059 \cdot K_{\text{ТП}}$$

$$V'_{\text{експ.Е}} = V'_{\text{експ.ТП}} + V'_{\text{експ.кл}}$$

$$V'_{\text{експ.С КЛ (2варіант)}} = 0,023 \cdot 6373611 = 146593,1 \text{ грн}$$

$$V'_{\text{експ.С ТП (2варіант)}} = 0,059 \cdot 28500000 = 1681500 \text{ грн}$$

$$V'_{\text{експ.С (2варіант)}} = 146593,1 + 1681500 = 1828093,1 \text{ грн}$$

$$V'_{\text{експ.С КЛ (3варіант)}} = 0,023 \cdot 7727272 = 177727,3 \text{ грн}$$

$$V'_{\text{експ.С ТП (3варіант)}} = 0,059 \cdot 25200000 = 1486800 \text{ грн}$$

$$V'_{\text{експ.С (3варіант)}} = 177727,3 + 1486800 = 1664527,3 \text{ грн}$$

Витрати на відшкодування втрат електроенергії визначаються за формулою:

$$B_{\text{е}} = c_{\text{е}} \cdot \Delta \mathcal{E}_{\text{с}} \quad (4.13)$$

де  $c_{\text{е}}$  - тариф на електроенергію

$$c_{\text{е}} = 1,5 \text{ (грн/кВт}\cdot\text{год)},$$

причому  $\Delta \mathcal{E}_{\text{с}} = \Delta \mathcal{E}_{\text{усл-пост}} + \Delta \mathcal{E}_{\text{нагр}}$  - сумарні втрати електроенергії,

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{усл-пост}} = \Delta P_{\text{усл-пост}} \cdot T_{\text{год}} \quad (4.14)$$

$$\text{де } T_{\text{год}} = 8760 \frac{\text{дїб}}{\text{год}}$$

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{нагр}} = \Delta P_{\text{нагр}} \cdot \tau, \quad (4.15)$$

де

$$\tau = \frac{1}{3} \cdot T_{\text{нб}} + \frac{2}{3} \cdot \frac{T_{\text{нб}}^2}{8760} \left[ \frac{\text{дїб}}{\text{год}} \right] \quad - \text{ час найбільших втрат} \quad (4.16)$$

Визначаємо час найбільших втрат

$$\tau = \frac{1}{3} \cdot 4500 + \frac{2}{3} \cdot \frac{4500^2}{8760} = 3041,1 \frac{\text{дїб}}{\text{год}}$$

Обираємо трифазні двообмоткові трансформатори ТМ-1000/10 та ТМ-

1250/10 з наступними параметрами:

$$S_{\text{ном.тр.}} = 1000 \text{ кВА}, \Delta P_{\text{к 1000}} = 10,8 \text{ кВт}, \Delta P_{\text{х 1000}} = 1,60 \text{ кВт}$$

$S_{ном.тр.} = 1250 \text{ кВА}, \Delta P_{к-1250} = 13,5 \text{ кВт}, \Delta P_{х-1250} = 1,85 \text{ кВт}$

Втрати потужності в трансформаторах на прикладі ТП1 варіант 2

$$\Delta P_{нагр} = \left( \frac{\Delta P_{к}}{2} \right) \cdot \left( \frac{S_{ТП}}{S_{НОМ.ТР}} \right)^2 \quad (4.17)$$

$$\Delta P_{нагр} = \left( \frac{10,8}{2} \right) \cdot \left( \frac{1433}{1000} \right)^2 = 12,83 \text{ кВт}$$

Таблиця 4.7

Результати розрахунків мережі другого варіанту

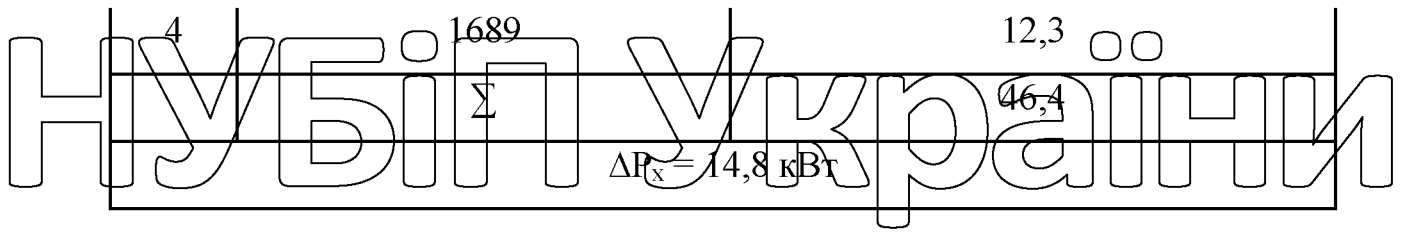
Варіант №2		
№ ТП	$S_{ТП}$ , кВА	$\Delta P_{ром.}$ , кВт
1	1433	11,1
2	1394	10,5
3	1417	10,8
4	1446	11,3
5	1368	10,1
	$\Sigma$	53,8

$\Delta P_{к} = 16 \text{ кВт}$

Таблиця 4.8

Результати розрахунків мережі першого варіанту

Варіант №1		
№ ТП	$S_{ТП}$ , кВА	$\Delta P_{ром.}$ , кВт
1	1740	12,9
2	1786	13,8
3	1843	7,4



$$D_{\text{э, усл- пост(2 вариант)}} = 16 \cdot 8760 = 140160$$

$$D_{\text{э, нагр(2 вариант)}} = 53,8 \cdot 3041,1 = 33711$$

$$D_{\text{э(2 вариант)}} = 140160 + 33711 = 173871$$

$$I_{D_{\text{э(2 вариант)}}} = 1,5 \cdot 173871 = 260806 \text{ грн.}$$

$$D_{\text{э, усл- пост(3 вариант)}} = 14,8 \cdot 8760 = 129648$$

$$D_{\text{э, нагр(3 вариант)}} = 46,4 \cdot 3041,1 = 39305$$

$$D_{\text{э(3 вариант)}} = 129648 + 39305 = 168953$$

$$I_{D_{\text{э(3 вариант)}}} = 1,5 \cdot 168953 = 253430 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{д(2 вариант)}} = 34873611 + (1828093,1 + 260806) \cdot \frac{10}{100} \cdot (1 + 10)^{10} = 35082501 \text{ грн}$$

$$Z_{\text{д(3 вариант)}} = 32927272 + (1664527,3 + 253430) \cdot \frac{10}{100} \cdot (1 + 10)^{10} = 33119068 \text{ грн}$$

Далі порівнюємо два варіанти:

$$\Delta Z_{2-3} = \frac{35082501 - 33119068}{35082501} \cdot 100\% = 5\%$$

З двох розглянутих схем мережі 0,4 кВ обираємо варіант 2 з п'ятьма трансформаторними підстанціями типу ТМ-1000/10 з точки зору надійності електропостачання.

#### 4.4. Розрахунок та вибір перерізу кабелів 10 кВ

Електрична мережа кВ живить житловий район в якому встановлено 15 трансформаторних підстанцій потужністю 2x1000 кВА. Електропостачання здійснюється від джерела живлення, розташованого в 2,5 км від району.

Побудова міської електричної мережі за умовами забезпечення необхідної надійності електропостачання споживачів електричною енергією належної якості, як правило, виконується по відношенню до основної маси електроприймачів розглянутого району. За наявності окремих електроприймачів більш високої категорії цей принцип побудови мереж доповнюється необхідними заходами по створенню потрібної надійності електропостачання цих електроприймачів.

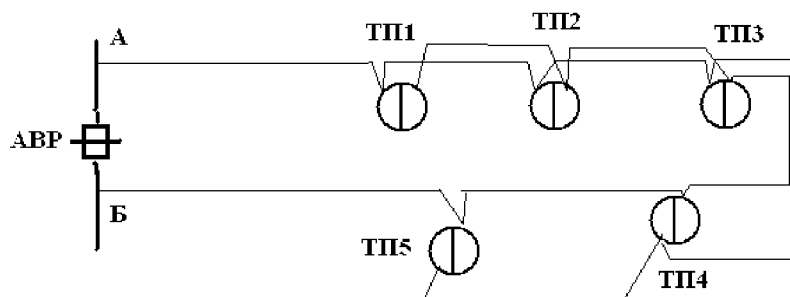


Рис. 4.1. Схема зустрічного ввімкнення магістралей.

При визначенні струмозподілу приймаємо, що потужність трансформаторної підстанції між її трансформаторами розподілена рівномірно.

Також необхідно врахувати, що струмозподіл визначається з урахуванням коефіцієнтів суміщення максимумів навантаження трансформаторів:

$$P_i = k_y \sum_{i=5}^4 P_{TP,i} \quad (4.18)$$

До джерела живлення підключено п'ять трансформаторних підстанцій.

Тоді

$$P_{ДЖ-1} = k_y \sum_{i=5}^5 P_{TP,i} = 0,85 \cdot (P_{TP1} + P_{TP2} + P_{TP3} + P_{TP4} + P_{TP5})$$

$$P_{1-2} = 0,85 \cdot (P_{TP2} + P_{TP3} + P_{TP4} + P_{TP5})$$

$$P_{2-3} = 0,85 \cdot (P_{TP3} + P_{TP4} + P_{TP5})$$

$$P_{3-4} = 0,9 \cdot (P_{TP4} + P_{TP5})$$

$$P_{4-5} = 1,0 \cdot (P_{TP5})$$

де  $P_i$  – розрахункова потужність трансформаторів, що живляться по даній лінії, кВт.

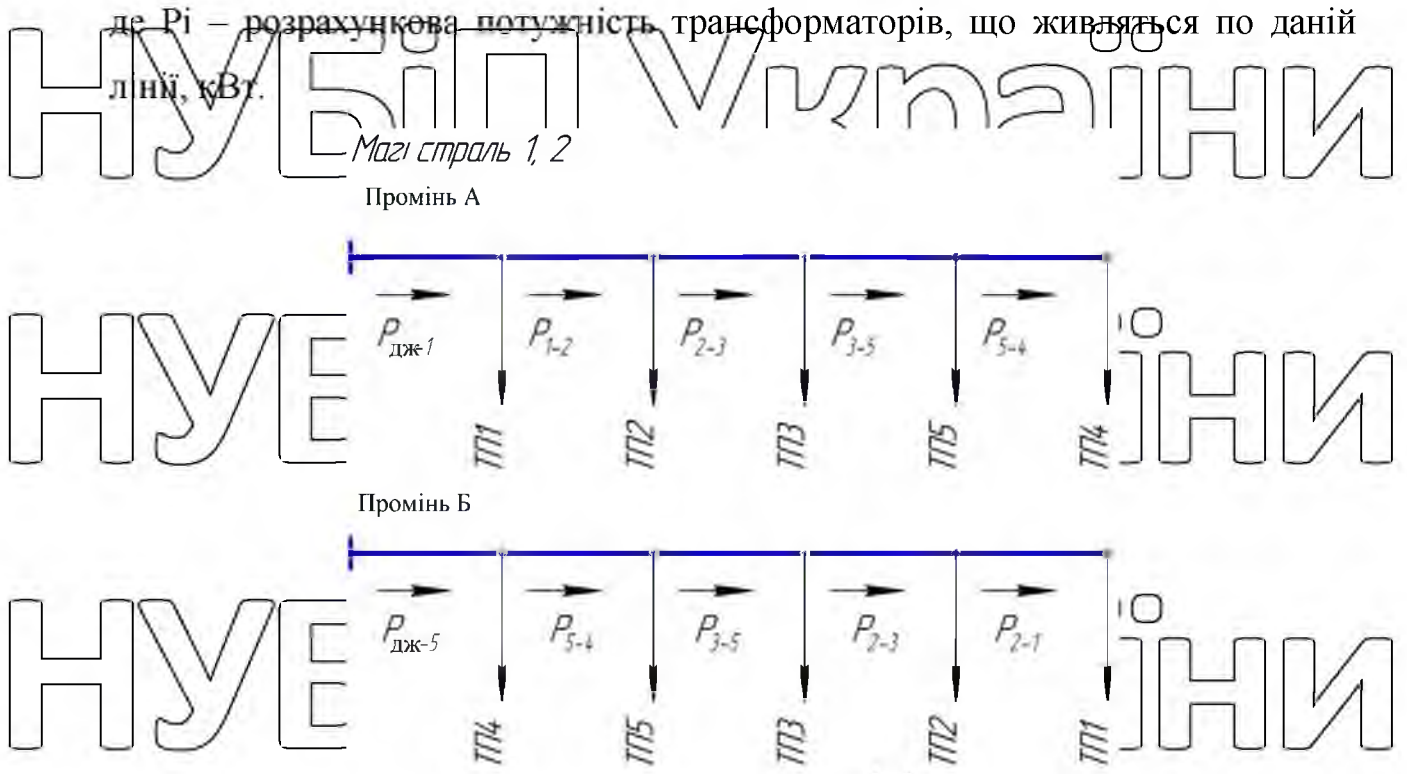


Рис. 4.2. Схема магістралі 1 та 2

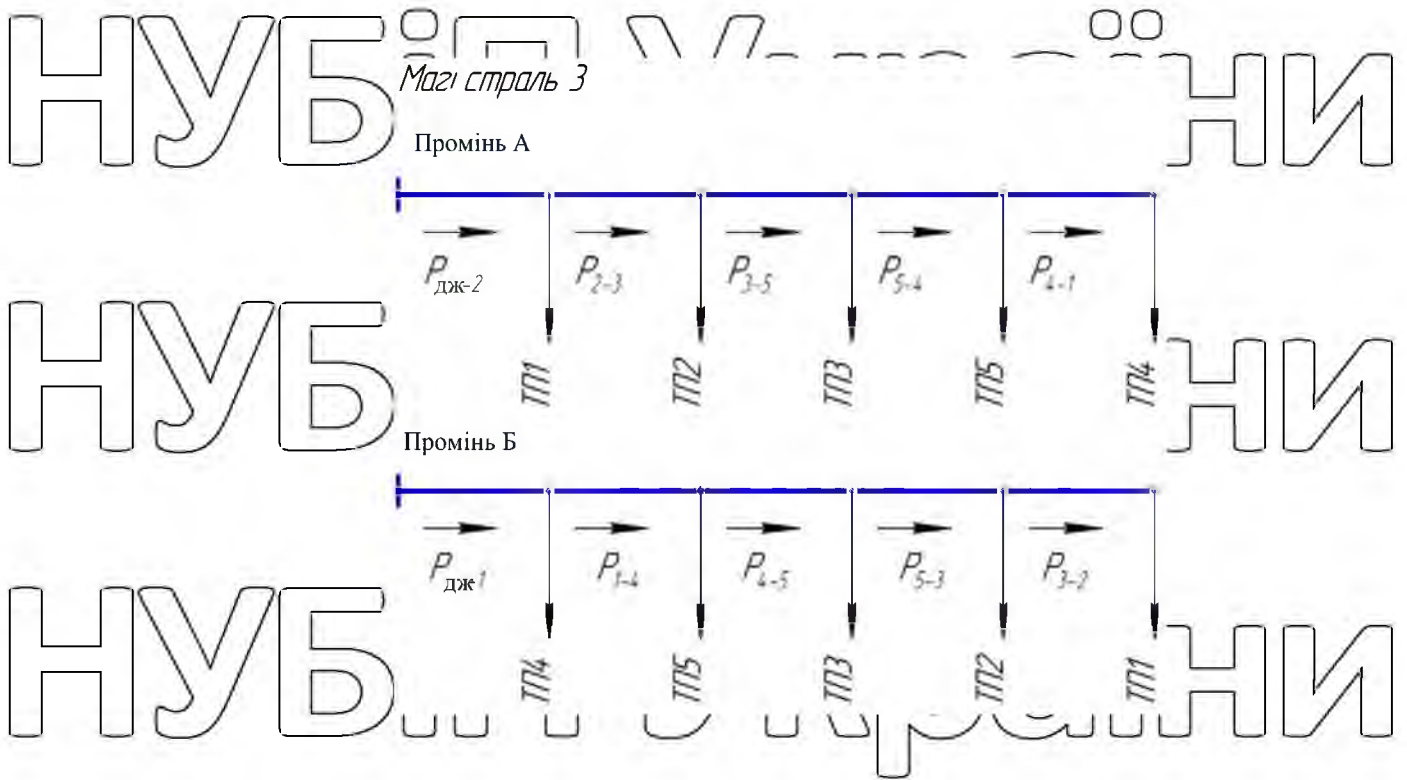


Рис. 4.3. Схема магістралі 3

Приклад для розрахунку лінії ДЖ-ТЧ1 (А)

$$P_{ДЖ-ТПП(A)} = \frac{0,85}{2} \cdot (1243 + 1292,7 + 1285,2 + 1290,1 + 1374,6) = 2756,4 \text{ Вт}$$

$$Q_{ДЖ-ТПП(A)} = \frac{0,85}{2} \cdot (401,2 + 497,5 + 533,0 + 438,0 + 439,3) = 981,3 \text{ квар}$$

$$S_{ДЖ-ТПП(A)} = 2925,8 \text{ кВА}$$

$$S_{ДЖ-ТПП(A)} = 0,85 \cdot 0,5 \cdot (1433 + 1394 + 1417 + 1446 + 1368)$$

Для інших ліній мережі 10 кВ розрахунки проводяться аналогічно і результати розрахунку наведені в таблиці.

### Перевірка кабельних ліній 10 кВ за допустимими умовами

Мережі 10 кВ виконуються кабелем марки АПвП (одножильний кабель з алюмінієвими жилами, з ізоляцією з зшитого поліетилену з поздовжньою герметизацією).

Переріз жил кабельних ліній обираємо за економічною густиною струму:

$$F_э = \frac{I_{НБ}}{J_э} \quad (4.19)$$

де  $I_{НБ}$  - розрахунковий струм лінії в нормальному режимі, А;

$J_э$  - нормоване значення економічної густини струму, А/мм<sup>2</sup>.

Економічна густина струму при кількості годин використання максимального навантаження від 3000 до 5000 годин в рік для кабелів з пластмасовою ізоляцією з алюмінієвими жилами дорівнює 1,7 А/мм<sup>2</sup>.

Розрахунок наведено для лінії ДЖ-ТПП(А):

$$I_{НБ} = \frac{S_{ДЖ-ТПП(A)}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{2925,8}{\sqrt{3} \cdot 10} = 168,9 \text{ А}$$

$$F_э = \frac{168,9}{1,7} = 99,4 \text{ мм}^2$$

Найбільше стандартне значення 120 мм<sup>2</sup>

Розрахунок для інших ліній мережі 10 кВ проводиться аналогічно,

результати розрахунку наведені в таблиці

Перерізи кабельних ліній напругою вище 1 кВ, обрані за економічною густиною струму перевіряються за умовами допустимого нагрівання у нормальному та післяаварійному режимах, за допустимими втратами напруги, а також на термічну стійкість до струмів короткого замикання.

Приклад розрахунку для лінії ДЖ -ТП1(А):

Розрахунок найбільшого струму у післяаварійному режимі роботи:

$$I_{розр}^{П.АВ.} = \frac{S_{П.АВ.}}{\sqrt{3}U_{НОМ}}$$

де  $S_{П.АВ.}$  – потужність навантаження кабелю у післяаварійному режимі роботи,

кВА;

$U_{НОМ}$  – номінальна напруга кабелю, кВ;

$$I_{розр}^{П.АВ.} = \frac{5507,5}{\sqrt{3} \cdot 10} = 318,0 \text{ А}$$

$$I_{доп} = I_{доп.табл.} \cdot k_n \cdot k_t \cdot k_{зав.},$$

де  $I_{доп.табл.}$  – допустимий тривалий струм для кабелів з алюмінієвими жилами з пластмасовою ізоляцією за умови прокладання у землі.

$k_n$  – коефіцієнт прокладання, що враховує кількість кабелів, прокладених у траншеї, наведені у таблиці.

$k_t$  – поправні коефіцієнти на струми при розрахунковій температурі середовища, приймаємо рівним 0,6.

$$I_{доп} = 288 \cdot 0,9 \cdot 1,06 \cdot 0,7 = 192,3 \text{ А}$$

0,7 – коефіцієнт завантаження в нормальному режимі.

$$I_{доп}^{П.АВ.} = 288 \cdot 1 \cdot 1,06 \cdot 1,15 = 351,1 \text{ А},$$

1,15 – коефіцієнт завантаження у післяаварійному режимі.

Переріз задовольняє умовам допустимого нагрівання в нормальному та післяаварійному режимах, тому приймаємо значення  $F=120 \text{ мм}^2$ .

Розрахунок для інших ліній мережі 10 кВ наведений в таблиці.



Перевірка обраних жил кабелів 10 кВ за термічною стійкістю до струмів короткого замикання

Переріз, за якого провідник має термічну стійкість до струмів короткого замикання при заданому часі спрацювання захисту визначаємо наступним чином:

$$I_{кз} \leq I_{кз}^{доп} \quad (4.20)$$

$$I_{кз}^{доп} = I_{кз(1сек)}^{доп} \cdot k_t \quad (4.21)$$

де  $I_{кз(1сек)}^{доп}$  - допустимий струм односекундного короткого замикання кабелю [3]

$$k_t = 1/\sqrt{t}; \quad (4.22)$$

де  $t$  - час відключення КЗ, відмінний від 1 с.

$$t = t_{уст} + t_{ер.в} = 0,5 + 0,025 = 0,525 \text{ с} \quad (4.23)$$

Приклад розрахунку наведений для лінії ДЖ-ТПП(А)

На лінії 10 кВ джерела живлення розрахункове значення струму короткого замикання рівний 10,029 кА.



Рис. 4.4. Розрахункова схема.

Опір системи:

$$X_c = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot I_{кз}} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 10,029} = 0,376 \text{ Ом} \quad (4.24)$$

Допустимий струм короткого замикання кабельної лінії перерізом 120 мм<sup>2</sup> ДЖ-ТПП(А):

$$I_{кз}^{доп} = 1,3 \cdot \frac{1}{\sqrt{0,525}} = 15,6 \text{ кА} \geq I_{кз} = 10,029 \text{ кА}$$

Обраний переріз 120 мм<sup>2</sup> не потребує збільшення.

Розрахунок для інших мереж 10 кВ наведено в таблиці.

Перевірка обраних перерізів за допустимими втратами напруги.

Допустимі втрати напруги в мережах 0,4 кВ в нормальних режимах не повинні перевищувати 5%.

Втрати напруги визначаємо за наступною формулою:

$$\Delta U = \frac{(P \cdot r_0 + Q \cdot x_0) \cdot l}{U_{\text{ном}}}$$

де  $r_0, x_0$  – активний та реактивний опір на одиницю довжини лінії;

$l$  – довжина лінії, км

Приклад розрахунку наведений для лінії ДЖ-ТП1(А):

$$\Delta U_{\text{ДЖ-ТП1(А)}} = \frac{(2756,4 \cdot 0,258 + 981,3 \cdot 0,081) \cdot 12,928}{10} = 2,32 \text{ В}$$

Вибір перерізів решти кабельних ліній проводимо аналогічно.

Таблиця 4.9

Лінія	L, км	№ ТП	Рр, кВт	Qр, квар	Sp, кВА	Рп/ав, кВт	Qп/ав, квар	Sp/ав, кВА	Інб, А	Іп/ав, А	Ез, мм <sup>2</sup>	Ест, мм <sup>2</sup>	Ідоп, А	Інб/Ідоп	Ідоп', А	Ідоп' (п/ав), А	г0, Ом/км	х0, Ом/км	ΔUn, %	ΔU п/ав, %	ΔUс, %	Δсп, %
<b>Магістраль 1А</b>																						
ДЖ-ТП1	2,93	1	2756,4	981,3	2925,8	5188,5	1847,2	5507,5	168,9	318,0	99,4	120	288	0,59	192,3	351,1	0,258	0,081	2,32	4,36	3,91	7,34
ТП1-ТП2	0,8	2	2228,1	810,8	2371,0	4194,1	1526,2	4463,1	136,9	257,7	80,5	95	253	0,54	169,0	308,4	0,326	0,083	0,63	1,20		
ТП2-ТП3	0,56	3	1678,7	599,4	1782,5	3159,9	1128,2	3355,3	102,9	193,7	60,5	70	210	0,49	140,2	256,0	0,443	0,086	0,45	0,84		
ТП3-ТП5	0,65	5	1199,1	394,8	1262,4	2265,0	745,7	2384,6	72,9	137,7	42,9	70	210	0,35	140,2	256,0	0,443	0,086	0,37	0,69		
ТП5-ТП4	0,44	4	687,3	219,6	721,5	1237,1	395,4	1298,8	41,7	75,0	24,3	70	210	0,20	140,2	256,0	0,443	0,086	0,14	0,26		
<b>Магістраль 1В</b>																						
ДЖ-ТП4	2,78	4	2756,4	981,3	2925,9	5188,5	1847,2	5507,5	168,9	318,0	99,4	120	288	0,59	192,3	351,1	0,258	0,081	2,20	4,14	3,6	6,75
ТП4-ТП-5	0,44	5	2228,1	810,8	2371,0	4194,1	1526,2	4463,2	136,9	257,7	80,5	95	253	0,54	169,0	308,4	0,326	0,083	0,35	0,66		
ТП5-ТП3	0,65	3	1643,9	624,1	1758,4	3094,4	1174,8	3309,9	101,5	191,1	59,7	70	210	0,48	140,2	256,0	0,443	0,086	0,51	0,96		
ТП3-ТП-2	0,53	2	1160,1	463,7	1249,3	2191,2	875,9	2359,8	72,1	136,2	42,4	70	210	0,34	140,2	256,0	0,443	0,086	0,29	0,55		
ТП2-ТП1	0,8	1	646,4	248,8	692,6	1163,4	447,8	1246,6	40,0	72,0	23,3	70	210	0,19	140,2	256,0	0,443	0,086	0,25	0,44		
<b>Магістраль 2А</b>																						
ДЖ-ТП1	3,52	1	2756,4	981,3	2925,8	5188,5	1847,2	5507,5	168,9	318,0	99,4	120	288	0,59	192,3	351,1	0,258	0,081	2,78	5,24	4,40	8,27
ТП1-ТП2	0,8	2	2228,1	810,8	2371,0	4194,1	1526,2	4463,1	136,9	257,7	80,5	95	253	0,54	169,0	308,4	0,326	0,083	0,63	1,20		
ТП2-ТП3	0,56	3	1678,7	599,4	1782,5	3159,9	1128,2	3355,3	102,9	193,7	60,5	70	210	0,49	140,2	256,0	0,443	0,086	0,45	0,84		
ТП3-ТП5	0,68	5	1199,1	394,8	1262,4	2265,0	745,7	2384,6	72,9	137,7	42,9	70	210	0,35	140,2	256,0	0,443	0,086	0,38	0,73		
ТП5-ТП4	0,47	4	687,3	219,6	721,5	1237,1	395,4	1298,8	41,7	75,0	24,3	70	210	0,20	140,2	256,0	0,443	0,086	0,15	0,27		

Магістраль 2В																								
ДЖ-ТІ4	3,38	4	2756,4	981,3	2925,9	5188,5	1847,2	5507,5	168,9	318,0	99,4	120	288	0,59	192,3	351,1	0,258	0,081	2,67	5,03	4,07	7,64		
ТІ4-ТІ5	0,44	5	2228,1	810,8	2371,0	4194,1	1526,2	4463,2	130,9	257,7	80,5	95	253	0,54	169,0	308,4	0,326	0,083	0,35	0,66				
ТІ5-ТІ3	0,65	3	1643,9	624,1	1758,4	3094,4	1174,8	3309,9	101,5	191,1	59,7	70	210	0,48	140,2	256,0	0,443	0,086	0,51	0,96				
ТІ3-ТІ2	0,53	2	1160,1	463,7	1249,3	2191,2	875,9	2359,8	72,1	136,2	42,4	70	210	0,34	140,2	256,0	0,443	0,086	0,29	0,55				
ТІ2-ТІ1	0,8	1	646,4	248,8	692,6	1163,4	447,8	1246,6	40,0	72,0	23,5	70	210	0,19	140,2	256,0	0,443	0,086	0,25	0,44				
Магістраль 3А																								
ДЖ-ТІ2	2,92	2	2756,4	981,3	2925,9	5188,5	1847,2	5507,5	168,9	318,0	99,4	120	288	0,59	192,3	351,1	0,258	0,081	2,31	4,35	3,69	6,94		
ТІ2-ТІ3	0,55	3	2207,0	769,9	2337,4	4154,3	1449,2	4399,8	135,0	254,0	79,4	95	253	0,53	169,0	308,4	0,326	0,083	0,43	0,81				
ТІ3-ТІ5	0,65	5	1660,8	543,4	1747,4	3126,2	1022,8	3289,2	100,9	189,9	59,3	70	210	0,48	140,2	256,0	0,443	0,086	0,51	0,96				
ТІ5-ТІ4	0,44	4	1177,9	378,2	1237,2	2225,0	714,4	2336,8	71,4	134,9	42,0	70	210	0,34	140,2	256,0	0,443	0,086	0,24	0,46				
ТІ4-ТІ1	0,69	1	621,5	200,6	653,1	1118,7	361,1	1175,5	37,7	67,9	22,2	70	210	0,18	140,2	256,0	0,443	0,086	0,20	0,36				
Магістраль 3В																								
ДЖ-ТІ1	2,9	1	2756,4	981,3	2925,9	5188,5	1847,2	5507,5	168,9	318,0	99,4	120	288	0,59	192,3	351,1	0,258	0,081	2,29	4,32	3,47	6,53		
ТІ1-ТІ4	0,67	4	2207,0	769,9	2337,4	4154,3	1449,2	4399,8	135,0	254,0	79,4	95	253	0,53	169,0	308,4	0,326	0,083	0,52	0,99				
ТІ4-ТІ5	0,44	5	1678,7	599,4	1782,5	3159,9	1128,2	3355,3	102,9	193,7	60,5	70	210	0,49	140,2	256,0	0,443	0,086	0,26	0,49				
ТІ5-ТІ3	0,65	3	1158,9	437,0	1238,5	2189,0	825,4	2339,4	71,5	135,1	42,1	70	210	0,34	140,2	256,0	0,443	0,086	0,27	0,51				
ТІ3-ТІ2	0,53	2	642,6	266,5	695,7	1156,7	479,7	1252,2	40,2	72,3	23,6	70	210	0,19	140,2	256,0	0,443	0,086	0,12	0,22				

ДНУБІП України

ДНУБІП

00

Таблиця 4.9

## Результати розрахунку та вибору кабельних ліній

Лінія	Li	№ТП	F, мм <sup>2</sup>	г <sub>0</sub> , Ом/км	х <sub>0</sub> , Ом/км	R <sub>кл</sub> , Ом	X <sub>кл</sub> , Ом	R <sub>с</sub> , Ом	X <sub>с</sub> , Ом	X <sub>ист</sub> , Ом	Z, Ом	I <sub>кз</sub> , кА	I <sub>кз.доп</sub> , кА	F <sub>всього</sub> , мм <sup>2</sup>
<b>Магістраль 1А</b>														
ДЖ-ТП1	2,93	1	120	0,258	0,081	0,756	0,237	0	0	0,576	0,576	10,029	15,60	120
ТП1-ТП2	0,8	2	95	0,326	0,083	0,261	0,066	0,756	0,237	0,576	1,110	5,201	12,28	120
ТП2-ТП3	0,56	3	70	0,443	0,086	0,248	0,048	1,017	0,304	0,576	1,344	4,295	9,11	70
ТП3-ТП5	0,65	5	70	0,443	0,086	0,288	0,056	1,265	0,352	0,576	1,568	3,681	9,11	70
ТП5-ТП4	0,44	4	70	0,443	0,086	0,195	0,038	1,553	0,408	0,576	1,838	3,141	9,11	70
<b>Магістраль 1В</b>														
ДЖ-ТП4	2,78	4	120	0,258	0,081	0,717	0,225	0	0	0,576	0,576	10,029	15,60	120
ТП4-ТП5	0,44	5	95	0,326	0,083	0,143	0,037	0,717	0,225	0,576	1,075	5,370	12,28	120
ТП5-ТП3	0,65	3	70	0,443	0,086	0,288	0,056	0,861	0,262	0,576	1,201	4,808	9,11	70
ТП3-ТП1-2	0,53	2	70	0,443	0,086	0,235	0,046	1,149	0,318	0,576	1,455	3,968	9,11	70
ТП2-ТП1	0,8	1	70	0,443	0,086	0,354	0,069	1,383	0,363	0,576	1,672	3,453	9,11	70
<b>Магістраль 2А</b>														
ДЖ-ТП1	3,52	1	120	0,258	0,081	0,908	0,285	0	0	0,576	0,576	10,029	15,60	120
ТП1-ТП2	0,8	2	95	0,326	0,083	0,261	0,066	0,908	0,285	0,576	1,251	4,614	12,28	120
ТП2-ТП3	0,56	3	70	0,443	0,086	0,248	0,048	1,169	0,352	0,576	1,492	3,870	9,11	70
ТП3-ТП5	0,68	5	70	0,443	0,086	0,301	0,058	1,417	0,400	0,576	1,720	3,356	9,11	70
ТП5-ТП4	0,47	4	70	0,443	0,086	0,208	0,040	1,718	0,458	0,576	2,005	2,879	9,11	70
<b>Магістраль 2В</b>														
ДЖ-ТП4	2,78	4	120	0,258	0,081	0,872	0,274	0	0	0,576	0,576	10,029	15,60	120
ТП4-ТП5	0,44	5	95	0,326	0,083	0,143	0,037	0,872	0,274	0,576	1,217	4,743	12,28	120
ТП5-ТП3	0,65	3	70	0,443	0,086	0,288	0,056	1,015	0,310	0,576	1,348	4,284	9,11	70
ТП3-ТП2	0,53	2	70	0,443	0,086	0,235	0,046	1,303	0,366	0,576	1,608	3,590	9,11	70
ТП2-ТП1	0,8	1	70	0,443	0,086	0,354	0,069	1,538	0,412	0,576	1,828	3,159	9,11	70
<b>Магістраль 3А</b>														
ДЖ-ТП2	2,92	2	120	0,258	0,081	0,753	0,237	0	0	0,576	0,576	10,029	15,60	120
ТП2-ТП3	0,55	3	95	0,326	0,083	0,179	0,046	0,753	0,237	0,576	1,108	5,212	12,28	120
ТП3-ТП5	0,65	5	70	0,443	0,086	0,288	0,056	0,933	0,282	0,576	1,267	4,556	9,11	70
ТП5-ТП4	0,44	4	70	0,443	0,086	0,195	0,038	1,221	0,338	0,576	1,525	3,787	9,11	70
ТП4-ТП1	0,69	1	70	0,443	0,086	0,306	0,059	1,416	0,376	0,576	1,706	3,385	9,11	70
<b>Магістраль 3В</b>														
ДЖ-ТП1	2,9	1	120	0,258	0,081	0,748	0,235	0	0	0,576	0,576	10,029	15,60	120
ТП1-ТП4	0,67	4	95	0,326	0,083	0,218	0,056	0,748	0,235	0,576	1,103	5,234	12,28	120
ТП4-ТП5	0,44	5	70	0,443	0,086	0,195	0,038	0,967	0,291	0,576	1,298	4,448	9,11	70

## РОЗДІЛ 5

ОЦІНКА ЯКОСТІ НАПРУГИ НА ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧАХ  
ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ

Виконаємо оцінку та забезпечення якості напруги за її відхиленням від номінальної

Допустимі відхилення напруги від номінального складають:

- у мережах до 1000 В: у нормальному режимі  $\pm 5\%$  - у післяаварійному режимі  $\pm 10\%$

Перевірка дотримання допустимих відхилень напруги на електроприймачах 380 В житлових та громадських будівель проводиться за умовою:

$$\frac{\delta U_{yEP}}{U_{yEP}} \geq \frac{\delta U_{yEP}}{U_{yEP}} \geq \pm 5\% \text{ або у.о.,}$$

де  $\frac{\delta U_{yEP}}{U_{yEP}} = -5$  або  $-10\%$

$$\frac{\delta U_{yEP}}{U_{yEP}} = +5 \text{ або } +10\%$$

Дійсні відхилення напруги у електроприймачів:

$$\delta U_{yEP} = \delta U_{yДЖ} - \Delta U_{\Sigma} + E_T \quad (5.1)$$

де  $\Delta U_{\Sigma} = \Delta U_{ЛСН} + \Delta U_{ТР} + \Delta U_{ЛІН} + \Delta U_{ВН.Буд}$  (5.2)

$\delta U_{yДЖ}$  - відхилення напруги на шпнах 10 кВ джерела живлення;

$\Delta U_{ЛСН}$  - розрахункові втрати напруги в лініях 10 кВ,

$\Delta U_{ТР}$  - розрахункові втрати напруги в трансформаторах ТП;

$\Delta U_{ЛІН}$  - розрахункові втрати напруги зовнішньої мережі до будівлі, що розглядається;

$\Delta U_{ВН.Буд}$  - розрахункові втрати напруги у зовнішній мережі будівлі;

$E_T$  - "надбавка" напруги, яка залежить від обраного робочого відгалуження

на трансформаторах ТП; Розрахунки виконуються для нормальних режимів мережі при найбільших та найменших навантаженнях споживачів, а також для

найбільш важких післяаварійних режимів при найбільших навантаженнях споживачів. За відсутності необхідних даних допускається проводити розрахунки режиму найменших навантажень за навантаженням, що дорівнює 25-30% від максимального. Розрахунковими контрольними вузлами за

напругою є: 1. Найбільш електрично близькі до ТП та найбільш електрично віддалені ТП 10/0,38 кВ, 2. Введення найбільш близьких до ТП та найбільш віддалених електроприймачів 380 В. При цьому повинні враховуватися втрати напруги у внутрішньообудинкових мережах 380, які складають: 2-3% для будівель в 5-15 поверхів; 3-4% для будівель у 16-22 поверхи; 3-4% для

громадських та промислових будівель.

Дотримання умов  $\frac{\Delta U_{\text{у.елп}}}{U_{\text{н}}}$  та  $\frac{\Delta U_{\text{у.елп}}}{U_{\text{н}}}$  забезпечується зустрічним регулюванням напруги на ТП та вибором робочих відгалужень

трансформаторів 10/0,4 кВ на кожній ТП. Трансформатори 10/0,4 кВ, крім основного виведення (10 кВ), мають робочі відгалуження %, яким відповідають певні значення (0...+10 %). На підставі наведених відомостей вибирається необхідне, що задовольняє режимам найбільших та найменших навантажень (а також і післяаварійним режимам. Мінімальний обсяг

розрахунків, який підтверджує принципову можливість забезпечити необхідні відхилення напруги у всіх електроприймачів, полягає у перевірці виконання умови на електрично найбільш віддалених та найбільш близьких до ТП електроприймачі. Найбільш електрично віддалені електроприймачі

відповідають обліку найбільших відхилень напруги в лініях середньої та нижчої напруги ( $\Delta U_{\text{лсн}}$  та  $\Delta U_{\text{лнн}}$ ), а також повній величині втрат напруги

всередині будівель ( $\Delta U_{\text{вн.,буд.}}$ ). Найбільш електрично близькі електроприймачі відповідають обліку найменших відхилень напруги в лініях середньої та нижчої напруги ( $\Delta U_{\text{лсн}}$  та  $\Delta U_{\text{лнн}}$ ).

1. Найбільш електрично віддаленим трансформатором вважатимемо трансформатор, приєднаний до магістралі 2а – ТП 4, а найбільш електрично віддалений електроприймач будинок №5.

Опори трансформатору –  $R_{TP}=0,69 \text{ Ом}$ ,  $X_{TP}=4,35 \text{ Ом}$ .

Режим найбільших навантажень:

$$\Delta U_{TP/нб} = \frac{\left( \frac{P_{TP}^2}{2} r_{TP} + \frac{Q_{TP}^2}{2} x_{TP} \right)}{U_{ном}^2 \cdot 1000} \cdot 100 = \frac{\left( \frac{13746}{2} \cdot 0,69 + \frac{4393}{2} \cdot 4,35 \right)}{10^2 \cdot 1000} \cdot 100 = 1,4\% \quad (5.3)$$

$$\Delta U_{КЛ\ 10/нб} = 4,4\%, \quad \Delta U_{КЛ\ 0,4/нб} = 2,44\%, \quad \Delta U_{зд/нб} = 3\%, \quad (5.4)$$

$$\Delta U_{нб} = \Delta U_{КЛ\ 10/нб} + \Delta U_{TP/нб} + \Delta U_{КЛ\ 0,4/нб} + \Delta U_{зд/нб} = 4,4 + 1,4 + 2,44 + 3 =$$

11,24%

Режим найменших навантажень:

$$\Delta U_{TP/нм} = 0,25 \cdot \Delta U_{TP/нб} = 0,25 \cdot 1,4 = 0,35\%, \quad (5.5)$$

$$\Delta U_{КЛ\ 10/нм} = 0,25 \cdot \Delta U_{КЛ\ 10/нб} = 0,25 \cdot 4,4 = 1,1\%, \quad (5.6)$$

$$\Delta U_{КЛ\ 0,4/нм} = 0,25 \cdot \Delta U_{КЛ\ 0,4/нб} = 0,25 \cdot 2,44 = 0,61\%, \quad (5.7)$$

$$\Delta U_{буд/нм} = 0,25 \cdot \Delta U_{буд/нб} = 0,25 \cdot 3 = 0,75\% \quad (5.8)$$

$$\Delta U_{нм} = \Delta U_{КЛ\ 10/нм} + \Delta U_{TP/нм} + \Delta U_{КЛ\ 0,4/нм} + \Delta U_{буд/нм} =$$

0,35 + 1,1 + 0,61 + 0,75 = 2,81%

Вибір «надбавки» напруги:

$$-5 - (5) + 11,24 \leq E \leq 5 - 0 + 2,81$$

$$1,24 \leq E \leq 7,81$$

Обираємо попередньо «надбавку» напруги  $E_T = +5\%$

У післяаварійному режимі найбільша втрата напруги відбувається в мережі 10 кВ (4,4%), відповідно, аварійний режим розглядається в цьому елементі мережі.

$$\Delta U_{\Sigma(п/ав)} = \Delta U_{КЛ\ 10/нб} + \Delta U_{п/ав TP} + \Delta U_{КЛ\ 0,4/нб} + \Delta U_{буд/нб} = 4,4 + 1,4 + 2,44 + 3 =$$

15,64%

Відхилення напруги на електроприймачі:

$$\delta U_{еп} = \delta U_{дж} \Delta U_c - \Delta U_T + E_T - \Delta U_{п} - \Delta U_{бук} - \delta U_{дж} \Delta U_{\Sigma(п/ав)} + E_T = 5 -$$

15,64 + 5 = -5,64% >  $[\delta U_{еп}]_-$



Таким чином, при обраній попередньо "надбавці" напруги  $E_T = +5\%$  відхилення напруги на електроприймачі у післяаварійному режимі задовольняє вимогам ДСТУ.

2. Найбільш електрично віддалений трансформатор магістралі 2а – ТП 4, а найбільш електрично близький електроприймач будинок 2.

$$\Delta U_{\text{КЛ}_{10/\text{нб}}} = 4,4\%, \Delta U_{\text{КЛ}_{0,4/\text{нб}}} = 1,25\%, \Delta U_{\text{буд/нб}} = 3\%, \Delta U_{\text{ТР/нб}} = 1,4\%$$

$$\Delta U_{\text{нб}} = \Delta U_{\text{КЛ}_{10/\text{нб}}} + \Delta U_{\text{ТР/нб}} + \Delta U_{\text{КЛ}_{0,38/\text{нб}}} + \Delta U_{\text{буд/нб}} = 4,4 + 1,4 + 1,25 + 3 = 10,05\%$$

Режим найменших навантажень:

$$\Delta U_{\text{нм}} = \Delta U_{\text{КЛ}_{10/\text{нм}}} + \Delta U_{\text{ТР/нм}} + \Delta U_{\text{КЛ}_{0,38/\text{нм}}} + \Delta U_{\text{зд/нм}} = 0,35 + 1,1 + 0,31 + 0,75 = 2,51\%$$

Вибір «надбавки» напруги:

$$-5 - (5) + 10,05 \leq E \leq 5 - 0 + 2,51$$

$$0,05 \leq E \leq 7,51$$

Для електрично близького та електрично дальнього електроприймача обираємо "надбавку"  $E_T = +5\%$

3. Найбільш електрично близьким трансформатором будемо враховувати трансформатор, що приєднаний до магістралі 1б – ТП4, а найбільш електрично близький електроприймач – будинок №8

Режим найбільших навантажень:

$$\Delta U_{\text{КЛ}_{10/\text{нб}}} = 2,2\%, \Delta U_{\text{КЛ}_{0,4/\text{нб}}} = 1,29\%, \Delta U_{\text{буд/нб}} = 3\%, \Delta U_{\text{ТР/нб}} = 1,4\%$$

$$\Delta U_{\text{нб}} = \Delta U_{\text{КЛ}_{10/\text{нб}}} + \Delta U_{\text{ТР/нб}} + \Delta U_{\text{КЛ}_{0,4/\text{нб}}} + \Delta U_{\text{буд/нб}} = 2,2 + 1,4 + 1,29 + 3 = 7,89\%$$

Режим найменших навантажень:

$$\Delta U_{\text{ТР/нм}} = 0,25 \cdot \Delta U_{\text{ТР/нб}} = 0,25 \cdot 1,4 = 0,35\%$$

$$\Delta U_{\text{КЛ}_{10/\text{нм}}} = 0,25 \cdot \Delta U_{\text{КЛ}_{10/\text{нб}}} = 0,25 \cdot 2,2 = 0,55\%, \text{ и т.д.}$$

$$\Delta U_{\text{КЛ}_{0,4/\text{нм}}} = 0,25 \cdot \Delta U_{\text{КЛ}_{0,38/\text{нб}}} = 0,25 \cdot 1,29 = 0,32\%,$$

$$\Delta U_{\text{буд/нм}} = 0,25 \cdot \Delta U_{\text{зд/нб}} = 0,25 \cdot 3 = 0,75\%$$

$$\Delta U_{\text{пн}} = \Delta U_{\text{КЛ}_{10/\text{нм}}} + \Delta U_{\text{ТР/нм}} + \Delta U_{\text{КЛ}_{0,4/\text{нм}}} + \Delta U_{\text{зд/нм}}$$

$$= 0,35 + 0,55 + 0,32 + 0,75 = 1,97\%$$

Вибір «надбавки» напруги:

$$-5-(5) + 7,89 \leq E \leq 5-0+1,97$$

$$-2,11 \leq E \leq 6,97$$

Обираємо переважачою «надбавку» напруги  $E_T = +5\%$   
 У післяаварійному режимі найбільша втрата напруги відбувається в мережі 10 кВ (2.2%), відповідно, аварійний режим розглядається у цьому

$$\text{елементі мережі } \Delta U_{\Sigma(\text{п/ав})} = \Delta U_{\text{КЛ}_{10/\text{нб}}} + \Delta U_{\text{п/ав ТР}} + \Delta U_{\text{КЛ}_{0,4/\text{нб}}} + \Delta U_{\text{буд/нб}} =$$

$$2,22 + 1,4 + 1,29 + 3 = 10,09\%$$

Відхилення напруги на електроприймачі:

$$\delta U_{\text{еп}} = \delta U_{\text{дж}} - \Delta U_{\Sigma} - \Delta U_T + E_T - \Delta U_{\text{п}} - \Delta U_{\text{буд}} - \delta U_{\text{дж}} - \Delta U_{\Sigma(\text{п/ав})} + E_T = 5 -$$

$$10,09 + 5 = -0,09\% > [\delta U_{\text{еп}}]_.$$

Таким чином, при обраній попередньо "надбавці" напруга  $E_T = +5\%$  відхилення напруги на електроприймачі у післяаварійному режимі задовольняє вимогам ДСТУ.

4. Найбільш електрично близьким трансформатором вважатимемо трансформатор, приєднаний до магістралі 16 – ТП 4, а найбільш електрично віддаленим електроприймачем будинок №12.

$$\Delta U_{\text{КЛ}_{10/\text{нб}}} = 2,2\%, \Delta U_{\text{КЛ}_{0,4/\text{нб}}} = 2,31\%, \Delta U_{\text{буд/нб}} = 4\%, \Delta U_{\text{ТР/нб}} = 1,4\%$$

$$\Delta U_{\text{нб}} = \Delta U_{\text{КЛ}_{10/\text{нб}}} + \Delta U_{\text{ТР/нб}} + \Delta U_{\text{КЛ}_{0,4/\text{нб}}} + \Delta U_{\text{буд/нб}} = 2,2 + 1,4 + 2,31 + 3 =$$

$$6,96\%$$

Режим найменших навантажень:

$$\Delta U_{\text{нм}} = \Delta U_{\text{КЛ}_{10/\text{нм}}} + \Delta U_{\text{ТР/нм}} + \Delta U_{\text{КЛ}_{0,4/\text{нм}}} + \Delta U_{\text{буд/нм}}$$

$$= 0,55 + 0,35 + 0,58 + 0,75 = 2,23\%$$

Вибір «надбавки» напруги:

$$-5-(5) + 6,96 \leq E \leq 5-0+1,78$$

$$-3,04 \leq E \leq 6,78$$

Після аварійний режим найбільша втрата напруги відбувається в мережі 10 кВ (2,31%), отже аварійний режим розглядається в цьому елементі мережі

$$\Delta U_{\Sigma(\text{п/ав})} = \Delta U_{\text{КЛ}_{10/\text{кВ}}} + \Delta U_{\text{п/ав ТТ}} + \Delta U_{\text{КЛ}_{0,4/\text{кВ}}} + \Delta U_{\text{буд/кВ}} = 2,31 + 1,4 + 1,29 + 3 = 10,31\%$$

Відхилення напруги на електроприймачі:

$$\delta U_{\text{еп}} = \delta U_{\text{дж}} \Delta U_{\text{с}} = \Delta U_{\text{т}} + E_{\text{т}} - \Delta U_{\text{п}} - \Delta U_{\text{буд}} = \delta U_{\text{дж}} = \Delta U_{\Sigma(\text{п/ав})} + E_{\text{т}} = 5 - 10,31 + 5 = -0,31\% > [\delta U_{\text{еп}}]$$

Таким чином, при обраній попередньо "надбавці" напруги  $E_{\text{т}} = +5\%$  відхилення напруги на електроприймачі в післяаварійному режимі задовольняє вимогам ДСТУ. Для електрично близького та електрично далекого електроприймача вибираємо "надбавку"  $E_{\text{т}} = +5\%$ .

Виконаємо оцінку та забезпечення якості напруги за розмахом її змін.

Зміни напруги виникають під час роботи електроприймачів з різко змінним характером навантаження. Найбільш характерним прикладом коливань напруги в мережі є зниження напруги, викликане пуском короткозамкнутого асинхронного електродвигуна, пусковий струм якого в 4-8 разів перевищує його номінальний струм. Через це в перший момент пуску в мережі виникає різке зниження напруги, що триває порівняно короткий час,

потім у міру розгону двигуна та зменшення величини пускового струму напруга знову підвищується. У житлових районах міст короткозамкнуті асинхронні електродвигуни в основному застосовуються як приводні двигуни

ліфтових установок житлових та громадських будівель. Тому проєктовані мережі 380 повинні перевірятися за умовою дотримання допустимих значень розмаху змін напруги. При визначенні додаткового зниження напруги при пуску двигуна ліфта напруга на шинах вищої напруги трансформаторів 10 кВ приймається практично не змінним, так як опори мережі 10 кВ значно менше

опорів мережі 380 В. Тому слід враховувати втрати напруги в трансформаторах ТТ та на відповідних ділянках мережі 380, до яких підключений електродвигун. Для розрахунку розмаху зміни напруги

розглядається найбільш електрично віддалений двигун мікрорайону. Таким двигуном є двигун ліфта у будинку №5. Наприклад розрахунку розмаху коливань напруги при пусках електродвигунів ліфтових установок виберемо короткозамкнутий асинхронний двигун типу АТ-2 – [3] потужністю 4,5 кВт.

Також перевіримо будівлю №12, оскільки в ній встановлено двигуни 7 кВт.

Технічні характеристики електродвигуна АО2 – потужністю 4,5 кВт (за каталогом):  $U_{\text{ном}} = 380 \text{ В}$  – номінальна напруга електродвигуна  $P_{\text{ном}} = 4,5 \text{ кВт}$  – номінальна потужність електродвигуна  $S_{\text{ном}} = 3,5\%$  – номінальне ковзання

електродвигуна  $\cos\varphi_{\text{ном}} = 0,86$  – номінальний коефіцієнт потужності

електродвигуна  $K_{\text{п}} = 7$  – кратність пускового струму електродвигуна  $\eta_{\text{ном}} = 87\%$  – номінальний ККД електродвигуна При розрахунку розмаху коливань напруги при пусках безпосередньо підключаються до мережі електродвигунів

380 В ліфтів житлових та громадських будівель, крім впливу пускового струму

двигуна, необхідно враховувати додаткове коливання напруги струму від включення електромагнітного гальма, на введенні в будівлю

$$\delta U_{\text{суд}} = \delta U_{\text{д}} + \delta U_{\text{т}}, \quad (5.9)$$

де  $\delta U_{\text{т}} = 0,3-0,5\%$  – додатковий розмах коливань напруги.

Розмах коливань під час пуску електродвигуна

$$\delta U_{\text{д}} = \delta U_{\text{т}} = \sqrt{3} \cdot I_{\text{пуск}} \cdot \frac{U_{\text{д}}}{U_{\text{ном}}} \cdot (R_{\Sigma} \cdot \cos\varphi_{\text{п}} + X_{\Sigma} \cdot \sin\varphi_{\text{п}}), \quad (5.10)$$

де  $I_{\text{пуск}} = I_{\text{д.ном}} \cdot K_{\text{п}}$  – пусковий струм двигуна, А;

$U_{\text{д}}$  – напруга на виводах двигуна у нормальному режимі роботи, В;

$U_{\text{ном}}$  – номінальна напруга мережі і двигуна, В;

$R_{\Sigma}, X_{\Sigma}$  – сума опорів трансформаторів, що живлять мережу, та ліній між підстанцією та двигуном, Ом;

$\cos\varphi_{\text{п}}$  – коефіцієнт потужності двигуна під час пуску.

Визначаємо номінальний струм електродвигуна:

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} U_{\text{ном}} \cos\varphi_{\text{ном}} \eta_{\text{ном}}} = \frac{4,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,86 \cdot 0,87} = 0,14 \text{ А} \quad (5.11)$$

Визначаємо пусковий струм електродвигуна:

$$I_{\text{пуск}} = 7 \cdot I_{\text{ном}} = 7 \cdot 9,14 = 63,97 \text{ А} \quad (5.12)$$

$R_{\Sigma}$ ,  $X_{\Sigma}$  визначаються сумою опору трансформатора, приведеного до сторони нижчої напруги, і сумарного опору ліній нижчої напруги, що живлять електроприймачів:

$$R_{\Sigma} = R'_{\text{тр}} + \Sigma R_{\text{лнн}} = R'_{\text{тр}} + \Sigma L_{\text{лнн}} \cdot R_0 \quad (5.13)$$

$$X_{\Sigma} = X'_{\text{тр}} + \Sigma X_{\text{лнн}} = X'_{\text{тр}} + \Sigma L_{\text{лнн}} \cdot X_0, \quad (5.14)$$

де  $R'_{\text{тр}}$ ,  $X'_{\text{тр}}$  - опору живильного трансформатора, приведені до сторони нижчої напруги трансформатора, Ом;

$L_{\text{лнн}}$ ,  $R_0$ ,  $X_0$  - довжина та погонні параметри лінії нижчої напруги, км, Ом/км;

$$R'_{\text{ТР}} = \frac{R_{\text{ТР}}}{k_{\text{ТР}}^2} = \frac{0,69}{\left(\frac{10}{0,4}\right)^2} = 0,0011 \text{ Ом} \quad (5.15)$$

$$X'_{\text{ТР}} = \frac{X_{\text{ТР}}}{k_{\text{ТР}}^2} = \frac{4,35}{\left(\frac{10}{0,4}\right)^2} = 0,0070 \text{ Ом} \quad (5.16)$$

$$R_{\Sigma} = 0,0011 + 0,032 = 0,033 \text{ Ом}$$

$$X_{\Sigma} = 0,007 + 0,014 = 0,021 \text{ Ом.}$$

Оскільки даний двигун живиться від ТП4, то попередньому пункті було вже розраховано відхилення напруги з урахуванням обраної надбавки, тому напруга на затискачах двигуна буде одно:

$$U_{\text{д}} = 400 - \Delta U_{\text{нн}} = 400 - 5,64 = 394,4 \text{ В}$$

$$\cos \varphi_{\text{II}} = 0,44 \text{ та } \sin \varphi_{\text{II}} = 0,90$$

Розмах коливань під час пуску електродвигуна:

$$\delta U_{\text{д}} = \delta U_{\text{т}} = \sqrt{3} \cdot I_{\text{пуск}} \cdot \frac{U_{\text{д}}}{U_{\text{ном}}} \cdot (R_{\Sigma} \cdot \cos \varphi_{\text{II}} + X_{\Sigma} \cdot \sin \varphi_{\text{II}}) =$$

$$= \sqrt{3} \cdot 63,97 \cdot 1,03 \cdot \left(0,033 \cdot 0,44 + 0,021 \cdot 0,9\right) = 3,63 \text{ В}$$

$$\delta U_{Д\%} = \delta U_{т\%} = \frac{\delta U_{Д}}{U_{НОМ}} \cdot 100\% = \frac{3,63}{380} \cdot 100 = 1\%$$
 Розмах коливань під час пуску електродвигуна (на введенні у будівлю):

$$\delta U_{зд} = \delta U_{Д} + \delta U_{Т} = 1 + 0,4 = 1,4\%$$

При забудові житлового району будинками більше 12 поверхів кількість коливань напруги (пусків ліфтів) за хвилину приймемо рівним 1. При такій кількості коливань, згідно ДСТУ, коливання напруги не повинні перевищувати 3,2 %

$$1,4\% < 3,2\%$$

$\delta U_{буд} < \delta U_{ц,доп}$  задовольняє вимогам ДСТУ.  
 Технічні характеристики електродвигуна АО2 – потужністю 7 кВт (за каталогом):  $U_{НОМ} = 380$  В – номінальна напруга електродвигуна  $P_{НОМ} = 7$  кВт –

номінальна потужність електродвигуна  $S_{НОМ} = 3,5\%$  - номінальне ковзання електродвигуна  $\cos\phi_{НОМ} = 0,87$  – номінальний коефіцієнт потужності електродвигуна  $K_{п} = 7$  – кратність пускового струму електродвигуна  $\eta_{НОМ} = 88,5\%$  - номінальний ККД електродвигуна

Визначаємо номінальний струм електродвигуна:

$$I_{НОМ} = \frac{P_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos\phi_{НОМ} \cdot \eta_{НОМ}} = \frac{7}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,87 \cdot 0,885} = 13,81 \text{ А}$$

Визначаємо пусковий струм електродвигуна:

$$I_{пуск} = 7 \cdot I_{НОМ} = 7 \cdot 13,81 = 96,69 \text{ А}$$

Визначаємо суму опорів трансформаторів, що живлять мережу, та ліній між підстанцією та двигуном

$$R_{\Sigma} = R'_{тр} + \Sigma R_{лнн} = R'_{тр} + \Sigma L_{лнн} \cdot R_0$$

$$X_{\Sigma} = X'_{тр} + \Sigma X_{лнн} = X'_{тр} + \Sigma L_{лнн} \cdot X_0,$$

нубіп України

$$R'_{TP} = \frac{R_{TP}}{k_{TP}^2} = \frac{0,69}{\left(\frac{10}{0,4}\right)^2} = 0,0011 \text{ Ом}$$

$$X'_{TP} = \frac{X_{TP}}{k_{TP}^2} = \frac{4,35}{\left(\frac{10}{0,4}\right)^2} = 0,0070 \text{ Ом}$$

$$R_{\Sigma} = 0,0011 + 0,041 = 0,0421 \text{ Ом}$$

$$X_{\Sigma} = 0,007 + 0,012 = 0,019 \text{ Ом}$$

Так як даний двигун живиться від ТП 1, то в попередньому пункті вже

було розраховано відхилення напруги з урахуванням обраної надбавки, тому напруга на затискачах двигуна дорівнює:

$$U_{\text{д}} = 400 - \Delta U_{\text{шт}} = 400 - 0,31 = 399,69 \text{ В}$$

$$\cos \varphi_{\text{II}} = 0,40 \text{ та } \sin \varphi_{\text{II}} = 0,92$$

Розмах коливань під час пуску електродвигуна

$$\delta U_{\text{д}} = \delta U_{\text{т}} = \sqrt{3} \cdot I_{\text{пуск}} \cdot \frac{U_{\text{д}}}{U_{\text{ном}}} \cdot (R_{\Sigma} \cdot \cos \varphi_{\text{II}} + X_{\Sigma} \cdot \sin \varphi_{\text{II}}) =$$

$$= \sqrt{3} \cdot 96,69 \cdot 1,05 \cdot (0,0421 \cdot 0,40 + 0,019 \cdot 0,92) = 5,69 \text{ В}$$

$$\delta U_{\text{т}\%} = \delta U_{\text{т}\%} = \frac{\delta U_{\text{д}}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\% = \frac{5,69}{380} \cdot 100 = 1,5\%$$

Розмах коливань під час пуску електродвигуна (на введенні у будівлю)

$$\delta U_{\text{буд}} = \delta U_{\text{д}} + \delta U_{\text{т}} = 1,5 + 0,4 = 1,9\%$$

При забудові житлового району будинками понад 17 поверхів кількість

коливань напруги (пусків ліфтів) за хвилину прийемо рівним 1. При такій кількості коливань, згідно з ДСТУ, коливання напруги не повинні перевищувати 3,2%  $1,9\% < 3,2\%$

$\delta U_{\text{буд}} < \delta U_{\text{т, доп}}$  – задовольняє вимогам ДСТУ.

НУБІП України

## РОЗДІЛ 6

## ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

## НУВБІП України

**6.1. Загальні положення з охорони праці**

## НУВБІП України

Будівництво об'єктів поблизу діючих електроустановок має виконуватися у відповідності з правилами техніки безпеки, з дотриманням нормативних відстаней від кабелів до працюючих машин та механізмів, їх надійного заземлення та інших заходів по забезпеченню безпеки виконання робіт.

## НУВБІП України

У разі неможливості дотримання нормативних відстаней від працюючих механізмів до електроустановок, які перебувають під напругою, останні слід вимкнути та заземлити. Кількість, тривалість та час таких відключень мають бути зазначені у проекті виконання робіт та погоджені з енергопостачальною організацією.

## НУВБІП України

Вимоги до режиму безпеки та охорони праці наступні:

- Приймально-здавальні та експлуатаційні випробування виконуються у відповідності до Правил улаштування електроустановок.

## НУВБІП України

- Експлуатацію та ремонт має здійснювати підготовлений електротехнічний персонал. Слід забезпечувати зміст електричного обладнання та мереж у робітосдатному, справному стані та його експлуатацію у відповідності з вимогами ПБЕЕ та іншими нормативно-технічними документами; дотримання та якісне проведення профілактичних робіт, ремонту, модернізації та реконструкції електрообладнання.

## НУВБІП України

- Забезпечення обслуговуючого персоналу захисними засобами. Обслуговуючий персонал забезпечується електрозахисними засобами згідно наказу про розподіл захисних засобів.

Заходи з забезпечення електробезпеки.

## НУВБІП України

Охорона праці та техніка безпеки при експлуатації забезпечуються прийняттям проектних рішень у відповідності до Правил улаштування



електроустановок, Правил безпечної експлуатації електроустановок, вимоги яких враховують умови безпеки праці, попередження виробничого травматизму, професійних захворювань, пожеж та вибухів. Виконання Правил улаштування електроустановок та Правил безпечної експлуатації електроустановок забезпечує експлуатаційного персоналу безпеку обслуговування усіх елементів електроустановок. Для забезпечення охорони праці та техніки безпеки проектом передбачено:

- використання електрообладнання та провідних матеріалів, які відповідають відповідним умовам оточуючого середовища та призначенню;
- застосування способів прокладання та способів перетину (зближення) з інженерними комунікаціями у відповідності з Правилами улаштування електроустановок;

- улаштування надійного заземлення у відповідності з нормованою по Правилам улаштування електроустановок величиною опору та відповідною вимогам СНПТ 3.05.06-85;

- застосування попереджувальних плакатів;
- виконанням захисних мір електробезпеки у відповідності з ПУЕ та ДБН В.

2.5.-27-2006.

Монтажні та пуско-налагоджувальні роботи мають проводитися спеціалізованими монтажньо-налагоджувальними організаціями, які мають відповідні ліцензії на дані види робіт. Підключення, заміна, ремонт обладнання мають проводитися при вимкненій мережі живлення при дотриманні організаційних та технічних заходів у відповідності до чинних норм охорони праці, попередження виробничого травматизму, професійних захворювань, пожеж та вибухів.

Для забезпечення охорони праці та техніки безпеки у дипломній роботі передбачено використання технічно досконалого обладнання, розміщення обладнання в зручний спосіб для забезпечення безпечного обслуговування, виконання заземлюючих пристроїв елементів електроустановок відповідно до

Правил улаштування електрообладнання, застосування типових конструкцій заводів-виробників електричного обладнання, виконання будівельно-монтажних робіт відповідно до типових технологічних карт. Для забезпечення

охорони праці та техніки безпеки необхідно, щоб будівельно-монтажні та налагоджувальні роботи, а також експлуатація електроустановок проводилися

у відповідності з діючими нормами та правилами. Проектовані кабельні лінії 6 та 0,4 кВ та силовий трансформатор споруджуються для передачі електроенергії споживачам. Даний технологічний процес є безвідходним та не

супроводжується шкідливими викидами у атмосферу. Виробничий шум та

вібрація відсутні. У зв'язку з цим проведення повітряно-охоронних заходів зі зниження виробничого шуму та вібрації не передбачаються.

Пожежна безпека на проєктованому об'єкті забезпечується використанням негорючих матеріалів, автоматичним відключенням струмів

короткого замикання в мінімально короткий час, застосуванням пристроїв захисного відключення, застосуванням способів монтажу та вибору

провідникових матеріалів у відповідності до ПУЕ. Додаткових заходів з контролю вимог безпеки не передбачено. Проектоване електрообладнання

вибухонебезпечних блоків не має. Для уникнення персоналу від травмування

необхідне дотримання організаційних заходів, що забезпечують безпеку робіт у відповідності з Правилами безпечної експлуатації електроустановок. Пожежна

безпека силового трансформатора забезпечується застосуванням негорючих конструкцій, автоматичним вимиканням струмів короткого замикання,

заземленням частин електрообладнання.

## 6.2. Захист людей від ураження електричним струмом

Електробезпека – система організаційних та технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого та небезпечного впливу

електричного струму, електричної дуги, статистичного та електромагнітного полів. У електроустановках не допускається дозвіл небезпечного потенціалу на струмоведучих частинах та можливість випадкового дотику до струмоведучих

частин під напругою. Електроустановки мають працювати надійно та мати зручності в обслуговуванні. Ці вимоги задовольняються обмеженням

величини напруги, що застосовується, належною ізоляцією струмоведучих частин, застосуванням огорожень, блокування, вибором відстаней між проводами та огороженням, застосуванням заходів зменшення небезпеки при

переході напруги на металеві неструмоведучі частини, використанням захисних засобів, вибором належних будівельних та монтажних матеріалів.

До особливостей ураження електричним струмом відносяться наступні: відсутність зовнішніх проявів (можливої небезпеки ураження, тяжкість

випадків травмування, струми промислової частоти можуть викликати інтенсивні судороги м'язів, зовнішній струм при взаємодії з біострумами

організму може порушити нормальний характер їх впливу на тканини та викликати мимовільне скорочення м'язів, після впливу електричного струму не виключена можливість подальшого механічного травмування. Є чотири

типи дій електричного струму на організм людини: тепла, хімічна, біологічна та механічна. До теплової дії відносяться опіки різних ступенів,

нагрів, пошкодження судин, перегрів серця, мозку та інших органів, що викликає функціональні розлади. Хімічна дія пов'язана з розкладанням крові.

Біологічна призводить до порушення процесів життєдіяльності, а механічна – розриву тканин організму. Основні види ураження: електротравма,

електричний удар, електричний шок. Фактори, що впливають на ураження електричним струмом: рід струму, його величина, частота, величина прикладеної напруги, шлях протікання струму, тривалість впливу, оточуюче

середовище, опір тіла людини, схема включення людини в електричне коло, площа зіткнення тіла з електродом, індивідуальні властивості організму,

фактор уваги.

Причинами та умовами ураження електричним струмом можуть бути: дотик до струмоведучих частин під напругою, дотик до неструмоведучих частин, які опинилися під напругою, потрапляння під крокову напругу, порушення правил технічної експлуатації електроустановок, споживачів та правил техніки безпеки. Крокова напруга – відстань між двома точками землі у зоні замикання фази на землю, що розташовані одне від одного на відстані 0,8 м. Для уникнення ураження електричним струмом людина має виходити з зони крокової напруги короткими кроками, не відриваючи ноги однієї від іншої. За наявності гумових чобіток можна скористатися ними.

Технічні засоби захисту людей від ураження електричним струмом включають в себе: захисне заземлення, занулення, захисне відключення, електричне розділення мереж, вирівнювання потенціалів, застосування малих напруг, ізоляція струмоведучих частин, встановлення огорожуючих пристроїв, сигналізація та блокування, знаки безпеки, використання індивідуальних засобів захисту та запобіжного приладдя. До захисних засобів, що використовуються в електроустановках напругою вище 1 кВ належать: штанги ізолюючі, кліщі ізолюючі, кліщі вимірювальні, вказівники напруги безконтактні, ізолюючі вишки та драбини, гумові діелектричні рукавиці, боти, галоші, ізолюючі підставки, монтерський інструмент, огорожувальні пристрої, плакати та знаки безпеки. Усі дані пристрої та засоби мають перевірятися у встановлені терміни. Звільнити людину від електричного струму можливо за допомогою вимкнення вимикача, рубильника, або іншого апарату, шляхом зняття запобіжників, створення штучного короткого замикання на лінії накиданням. За відсутності такої можливості можна скористатися будь-яким предметом, що не є провідником струму, але при відділенні постраждалого від струмоведучих частин слід працювати однією рукою. Також можна перерубати кабелі або проводи застосовуючи засоби захисту.

У разі якщо людина, що постраждала внаслідок ураження електричним струмом дихає рідко, але в неї відчутний пульс слід зробити штучне дихання. Ефективними методами штучного дихання є дихання з рота в рот або з рота в ніс. Постраждалий має лежати на спині і йому слід забезпечити прохідність

дихальних шляхів та звільнити порожнину рота від можливих мас шляхом повернення постраждалого на бок. Після цього людина, що надає допомогу розташовується збоку від голови постраждалого, одну руку підштовхує під шию, а іншою рукою натискає на лоб постраждалого, максимально закинувши його голову (корінь язика має піднятися та звільнити вхід в гортань, рот

відкритися). Далі слід здійснити глибокий вдих ротом та потім енергійний видих зусиллям вдуваючи повітря в рот постраждалого та одночасно закрити ніс постраждалого. Якщо у постраждалого відсутня свідомість, дихання,

пульс, шкіра має синювате забарвлення та розширені зіниці, слід негайно провести штучне дихання та масаж серця. За даних обставин з метою економії часу не варто розділяти постраждалого, оскільки в такому випадку спроба на повернення до життя складає не більше ніж 4 хвилини. Натискання при штучному диханні слід здійснювати швидкими поштовхами так, щоб зміщати грудину на 4-5 см, тривалість натискання не більше 0,5 с, інтервал між

натисканнями на більше 0,5 с. Штучне дихання припиняється після досягнення глибокого та ритмічного дихання у постраждалого.

### 6.3. Розрахунок та улаштування контуру заземлення проєктованої трансформаторної підстанції

Захисне заземлення – навмисне електричне з'єднання з землею або її еквівалентом металевих неструмоведучих частин, що можуть опинитися під напругою. Захисний пристрій – сукупність заземлювача та провідників, що

з'єднують заземлюючі частини електроустановки з заземлювачем.

Заземлювачі можуть бути природними (рельси, металеві конструкції будівель, труби) та штучними (сталеві труби та металеві стрижні). Приєднання

заземлюючих провідників до заземлювачів має виконуватися зварюванням, а

до корпусів апаратів, машин та опор повітряних ліній – зварюванням чи

надійним болтовим кріпленням. Використання землі в якості фазного або

нульового проводу у електроустановках вище 1 кВ не дозволяється. У

приміщеннях заземлюючі провідники розташовуються таким чином, щоб вони

були доступними для огляду та надійно захищеними від механічних

ушкоджень. У відповідності до Правил улаштування електроустановок опір

заземлення не має перевищувати 4 Ом в лініях 380В. Грунт – суглинок.

Кліматична зона – III Б. Передбачається спорудження захисного заземлення,

що складається з шести вертикальних електродів довжиною 3,0 м; матеріал –

кругла сталь діаметром 16 мм, метод занурення – укручуванням, верхні кінці

вертикальних стержнів занурені на глибину 0,7 м та приварені до

горизонтального заземлювача, виконаного з кутової сталі 40x4 мм.

1. Розрахунковим є опір заземлення  $R_3=4$  Ом.

2. Рекомендований для розрахунку опір ґрунту у місці спорудження

заземлювача становить 50 Ом·м. Підвищувальні коефіцієнти для III-Б

кліматичної зони приймаються рівними: 1,6 – для горизонтальних електродів

глибиною закладання 0,7 м та 1,1 – для вертикальних електродів довжиною 2

-3 м при глибині закладання їх кінців 0,5-0,7 м. Розрахунковий питомий опір

ґрунту для горизонтальних та вертикальних електродів:

$$\rho_{\text{розр.гор}} = 1,6 \cdot 50 = 80 \text{ Ом} \cdot \text{м};$$

$$\rho_{\text{розр.верт}} = 1,1 \cdot 50 = 55 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

3. Визначаємо опір розтікання одного стрижня з круглої сталі діаметром 16

мм довжиною 3,0 м при зануренні нижче рівня землі на 0,7 м за формулою:

$$R_{\text{в.о.}} = \frac{\rho_{\text{розр.верт}}}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left( \ln \left( \frac{2 \cdot L}{a} \right) + 0,5 \ln \frac{4t+L}{4t-L} \right) =$$

$$R_{\Gamma} = \frac{\rho_{\text{розр.гор}}}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \cdot \left( \ln \left( \frac{2 \cdot 3}{0,016} \right) + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot 2,83 + 3}{4 \cdot 2,83 - 3} \right) = 18,01 \text{ Ом} \quad (6.1)$$

4. Визначаємо опір розтіканню струму горизонтального електроду з полюсової сталі 40x4 мм, привареного до верхніх кінців вертикальних стрижнів:

$$R_{\Gamma} = \frac{\rho_{\text{розр.гор}}}{2 \cdot \pi \cdot L_{\Gamma}} \cdot \ln \frac{L_{\Gamma}^2}{0,5 \cdot b \cdot t} = \frac{80}{2 \cdot 3,14 \cdot 15} \cdot \ln \frac{15^2}{0,5 \cdot 0,04 \cdot 0,8} = 8,11 \text{ Ом} \quad (6.2)$$

Коефіцієнт використання вертикальних електродів та горизонтального електроду в ряду з стрижнів при їх кількості шість та відношення відстані між стрижнями до довжини стрижня = 1.

$$R = \frac{R_{\text{в.о.}} \cdot R_{\Gamma}}{R_{\text{в.о.}} \cdot \eta_{\Gamma} + R_{\Gamma} \cdot \eta_{\text{в}} \cdot n} = \frac{18,01 \cdot 8,11}{18,01 \cdot 0,72 + 8,11 \cdot 0,65 \cdot 6} = 3,27 \text{ Ом.} \quad (6.3)$$

Заземлення в мережах 0,4 кВ. Даною роботою передбачено заземлення металевих частин електрообладнання, що не перебувають під напругою, шляхом приєднання до проектного заземлюючого пристрою, який складається з шести електродів круглої сталі діаметром 16 мм довжиною 3м кожен. Електроди забиваються на дно траншеї глибиною 0,7 м та з'єднуються між собою полюсовою сталлю 40x4 мм. Спуск до заземлюючого пристрою передбачається круглою сталлю діаметром 8 мм. Усі приєднання виконуються зварюванням. Опір заземлюючого пристрою не має перевищувати 4 Ом.

Заземленню підлягають нейтраль та корпус трансформатора, розрядники 6 кВ та 0,4 кВ, а також усі металеві частини, які можуть опинитися під напругою при пошкодженні ізоляції. Захист від грозових перенапруг здійснюється розрядниками 6 та 0,4 кВ, встановленими на вводі 6 кВ та шинках 0,4 кВ.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України



## ВИСНОВКИ

При виконанні магістерської роботи здійснено розрахунок технічно доцільної системи електропостачання міста та забезпечена необхідна якість комплексного електропостачання усіх електроприймачів та споживачів житлового багатоквартирного будинку шляхом розробки зовнішнього електропостачання з реконструкцією трансформаторної підстанції у відповідності до діючих нормативних документів та стандартів.

У роботі здійснено розрахунок електричних навантажень на вводах у житлові будівлі, розташовані на території мікрорайону, а також навантажень вуличного освітлення. Крім того, визначено, з урахуванням коефіцієнтів участі в максимумі навантажень, загальне електричне навантаження, за яким згодом знайдено потужність трансформаторних підстанцій та їх кількість.

У зв'язку з тим, що основну частину споживачів у мікрорайоні складають електроприймачі II категорії, то, відповідно трансформаторні підстанції прийняли двотрансформаторними. З урахуванням допустимого коефіцієнта навантаження трансформаторів у післяаварійному режимі, об'єкти електропостачання у мікрорайоні були розподілені між прийнятими трансформаторними підстанціями. Використовуючи графоаналітичний метод, було визначено найвигідніше місце розташування трансформаторних підстанцій - у центрі електричних навантажень, щодо якого з урахуванням архітектурних міркувань та вимог пожежної безпеки, визначили дійсне місце розташування трансформаторних підстанцій. Внутрішньоквартальні траси ліній намічаються з урахуванням обраного розташування будівель мікрорайону. Ці траси повинні в основному розташовуватися вздовж контурів будівель, під пішохідними доріжками, по можливості, не перетинати зони озеленення, спортивні та дитячі майданчики тощо. Будинки в безпосередній близькості, від яких знаходиться ТП, слід живити окремими лініями і не включати ці будівлі до магістральних схем. Розподільна мережа низької

напруги виконується за двопроменевою схемою (для споживачів I та II категорії), яка є найбільш надійною та простою для даної забудови мікрорайону та радіальною схемою для споживачів III категорії. Застосування двох паралельних магістральних ліній забезпечує надійність живлення,

необхідну для споживачів II категорії лише у поєднанні з секціюванням шин ВРП 0,4 кВ будівлі. Надійність, необхідна споживачам I категорії, за даної схеми забезпечується лише за умови установки АВР на введенні до електроприймача.

Для живлення електроприймачів були обрані кабельні лінії, за відповідними розрахунковими електричними навантаженнями ліній у нормальних та післяаварійних режимах роботи на основі технічних обмежень допустимого нагріву та допустимих втрат напруги, а також з урахуванням застосування мінімальних перерізів за умов механічної міцності (в умовах монтажу та експлуатації).

Для прокладки в мережі 0,4 кВ вибраний кабель із пластмасовою ізоляцією типу АПВБШп перерізом 35...185 мм<sup>2</sup>. Розподільна мережа середньої напруги виконана за схемою зустрічного включення магістралей. Для мережі 10 кВ обраний кабель марки АПВПг (одножильний кабель з алюмінієвими жилами, з ізоляцією зі зшитого поліетилену) перетином

на електроприймачах житлових та громадських будівель району та описані заходи з охорони праці.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Васи́лега П. О. Електропостачання: навчальний посібник / Васи́лега П. О. – Суми, Університетська книга, 2014 – 415 с.
2. Деркач І. Л. Міські інженерні мережі: Навчальний посібник для студентів 4, 5, 6 курсів спеціальності 7.092102 – "Міське будівництво і господарство", 7.120103 "Містобування" та напрямів 1201 – "Архітектура" / Деркач І. Л. – Харків: ХНАМГ, 2006 – 97 с.
3. Дорош А. М. Організація будівельного виробництва: навчальний посібник. / Дорош А. М. – Київ, Аграрна освіта, 2011 – 255 с.
4. ДБН В. 2.5-23:2010 Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. Київ, Мінрегіонбуд України, 2010 – 167 с.
5. ДСТУ-Н Б В.1.1 -27:2010 Будівельна кліматологія. Київ, Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2010 – 132 с.
6. Єрмолаєв С. О. Проектування систем електропостачання в АПК. / Єрмолаєв С. О., Яковлев В. Ф., Мунтян В. О., Козирський В. В., Радько І. П., Куценко Ю. М. Мелітополь, Люкс, 2009 – 567 с.
7. Зорін В.В. Електричні мережі та системи: навчальний посібник для студентів вищих технічних навчальних закладів / Зорін В.В., Штогрин Є. А., Буйний Р. О. Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект-Поліграф», 2011. – 248 с.
8. Каталог ЗАО "Южкабель" Кабелі силові з бумажною просоченою та платмасовою ізоляцією", Харків – 40 с.
9. Козирський В.В. Електропостачання агропромислового комплексу: підручник / Козирський В.В., Каплун В.В., Волошин С.М. – Київ: Аграрна освіта, 2011. – 448 с.
10. Крючков І. П. Розрахунок коротких замикань та вибір електрообладнання / Крючков І. П., Неклепаєв Б. Н., Старшинов В. А. - Москва, Видавничий Центр "Академія", 2008 – 412 с.

11. Малиновський А. А. Основи електроенергетики та електропостачання. Підручник – 2-ге видання, перероблене і доповнене / Малиновський А. А., Хохулін Б. К. – Львів, Видавництво національного університету Львівська політехніка, 2009 – 436 с.

12. Методичні вказівки з вибору обмежувачів перенапруг нелінійних виробництва підприємства "Таврида Електрик" для електричних мереж 6-35 кВ. – Київ, Міністерство палива та енергетики України. Державний департамент електроенергетики, 2001.

13. Омельчук А. О. Зниження технологічних витрат електроенергії в трансформаторних підстанціях. Навчальний посібник. Видання друге, перероблене і доповнене / Омельчук А. О. – Київ, ЦП "Компринт", 2015 – 173 с.

14. Омельчук А. О. Методичні вказівки щодо виконання економічної частини дипломного проекту та магістерської роботи з проектування та реконструкції об'єктів системи електропостачання / Омельчук А. О. – Київ, ЦП "Компринт", 2015 – 22с.

15. Потапов В. О. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни "Інженерне обладнання населених місць" для студентів з спеціальності 7.0710904 "Землепорядкування та кадастр" / Потапов В. О., Макаров С. А., Бурлай В. А., Любарець О. П., Мредун К. М. - Київ, Київський державний технічний університет будівництва та архітектури, 1998. - 67 с.

16. Правила улаштування електроустановок. Видання п'яте, перероблене, і доповнене. 2014 р. - 736с.

17. Притака І. П. Електропостачання сільського господарства / Притака І. П. – Київ, Вища школа, 1983 – 343 с.

18. Рудницький В. Г. Внутрішньозаводське електропостачання. Курсове проектування: навчальний посібник. - 2-ге видання перероблене та доповнене / Рудницький В. Г. – Київ: Освіта України, 2013 – 287 с.

19. Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС) при проєктуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд. Основні положення проєктування. ДБН А.2.2.-1-2003 [чинний від 05.12.2003] – Київ, Мінрегіон України, 2003 – 20 с. (Державні будівельні норми України).

20. Федотова Л. А. Вибір кабельних ліній, автоматичних вимикачів та запобіжників у мережі 0,4 кВ. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з курсу "Електропостачання та електрообладнання електротехнологічних установок" для студентів усіх форм навчання спеціальності 140605 "Електротехнічні установки та системи" Федотова Л. А.

– Єкатеринбург, 2009.

21. Шкрабець Ф.П. Електропостачання. навчальний посібник. Міністерство освіти і науки України, Національний гірничий університет / Шкрабець Ф.П. – Донецьк: НГУ, 2015. – 540 с.

22. Суточніє графіки нагрузки жилых зданий. Школа для електрика. Режим доступа до сервера: <http://electrica.school/info/main/elsnabg/1190-sutochnye-grafiki-nagruzki-zhilykh.html>

23. Тарифи на електроенергію. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП). Режим доступа до сервера: <http://www.nerc.gov.ua/?id=15012>