

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання курсового проєкту

«ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ РАЙОНУ МІСТА»

з дисципліни

«ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МІСТ І ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ»

*(для студентів денної та заочної форм навчання освітнього рівня «магістр»
за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка)*

Харків – ХНУМГ ім. О. М. Бекетова – 2021

Методичні рекомендації до курсового проєкту «Електропостачання району міста» з дисципліни «Електропостачання міст і промислових підприємств» (для студентів денної та заочної форм навчання освітнього рівня «магістр» за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / В. Ф. Харченко, В. Г. Воропай, В. М. Гаряжа ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 81 с.

Укладачі: В. Ф. Харченко
В. Г. Воропай,
В. М. Гаряжа

Рецензент: Д. М. Калюжний

Затверджено на кафедрі електропостачання міст, протокол № 1 від 27.12.19

ЗМІСТ

Загальні рекомендації.....	4
1 Завдання на курсове проєктування та короткий зміст пояснювальної записки.....	5
2 Визначення розрахункових навантажень.....	6
2.1 Визначення розрахункових навантажень на введеннях житлових будинків.....	6
2.2 Розрахунок навантажень громадських і комунальних будинків.....	11
2.3 Розрахунок навантаження зовнішнього освітлення.....	11
2.4. Визначення потужності мікрорайону міста.....	14
3 Визначення кількості підстанцій в мікрорайоні.....	17
4 Розподіл навантаження мікрорайону по підстанціях.....	18
5 Розміщення трансформаторних підстанцій на плані мікрорайону та картограми навантажень.....	20
6 Вибір схеми електропостачання району міста.....	23
6.1 Вибір і розрахунок живильної мережі напругою 10 кВ.....	24
6.2 Вибір розподільної мережі напругою 0,4 кВ і 10 кВ.....	28
6.3 Розрахунок розподільної електричної мережі 10 кВ.....	37
6.4 Розрахунок розподільної електричної мережі 0,4 кВ.....	47
7 Розрахунок струмів короткого замикання (СКЗ) у розподільній мережі 10 кВ.....	54
8 Вибір обладнання трансформаторних підстанцій і розподільчих пунктів.....	59
8.1 Вибір засобів релейного захисту, автоматики і телемеханіки для розподільної мережі 10 кВ.....	63
8.2 Перевірка необхідності установки ДГР.....	65
Список рекомендованих джерел.....	68
Додаток А.....	70
Додаток Б.....	72

ЗАГАЛЬНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

У цих методичних рекомендаціях до виконання курсового проєкту з електропостачання району міста наведені основні методи розрахунків електричних навантажень і елементів мережі, а також довідкові матеріали, необхідні при розробці проєкту. Курсовий проєкт повинен включати пояснювальну записку в обсязі 40–50 сторінок і графічний матеріал, поданий двома аркушами формату А3. На першому аркуші зображують генеральний план мікрорайону і району міста, куди наносять відповідно мережу 0,4 і 10 кВ. На другому кресленні зображують електричну схему джерела живлення або міської трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ за вказівкою викладача, із зазначенням типу і потужності обраного електричного устаткування. Завдання на виконання проєкту видає викладач і містить вихідні дані на проектування: генеральний план мікрорайону і району міста, характеристика споживачів, інформація про джерело живлення для мікрорайону і району. Курсовий проєкт можна умовно розділити на три частини. Перша частина містить питання визначення електричних навантажень міської електричної мережі. Важливо на цьому етапі розрахунку з достатньою точністю визначити навантаження мікрорайону і району міста, що в остаточному підсумку визначає техніко-економічні показники запроектованої мережі електропостачання. Друга частина проєкту спрямована на раціональний вибір схеми електропостачання мікрорайону і району міста за допомогою техніко-економічного аналізу різних варіантів електропостачання підприємства. У третій частині проєкту здійснюється вибір електричного устаткування з урахуванням розрахункових струмів короткого замикання.

1 ЗАВДАННЯ НА КУРСОВЕ ПРОЄКТУВАННЯ ТА КОРОТКИЙ ЗМІСТ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

Для виконання курсового проєкту «Електропостачання району міста» студенту видається генеральний план забудови мікрорайону міста з характеристикою будівель і споруд, а також схема заповнення району міста мікрорайонами.

Відповідно до отриманого завдання студент визначає розрахункову потужність на введеннях житлових будинків, громадсько-комунальних будівель і відповідно до плану району міста розраховує навантаження зовнішнього освітлення. Це дає підставу для побудови картограми навантажень, визначення кількості міських трансформаторних підстанцій і визначення центрів електричних навантажень для розміщення їх на території району.

На основі отриманих результатів визначають розрахункове навантаження міських підстанцій, мікрорайону, району міста в цілому і вибирають потужність джерела живлення.

Важливою складовою частиною проєкту є вибір конструктивної схеми і визначення перетинів мереж напругою 0,4 і 10 кВ. Після обґрунтування і вибору живильних схем проводять розрахунок струмів короткого замикання і вибір електротехнічного устаткування підстанцій і джерела живлення району міста.

2 ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Розрахунок навантажень міської мережі включає визначення навантажень окремих споживачів: житлових будинків, громадських будівель, комунально-побутових споживачів, зовнішнього освітлення і елементів системи електропостачання: розподільних ліній, трансформаторних підстанцій, розподільних пунктів, центрів живлення і тощо.

2.1 Визначення розрахункових навантажень на введеннях житлових будинків

Відповідно до державних будівельних норм ДБН В.2.5-23-2003 житло (квартири) щодо оснащеності побутовими електроприладами і їхніми розрахунковими навантаженнями розподіляється на три види:

1 – житло (квартири) в будинках масового будівництва, споруджених і тих, що споруджуються, із загальною площею від 35 м² до 95 м² і заявленою (встановленою) потужністю електроприймачів до 30 кВт;

2 – житло (квартири) у багатоквартирних будинках, споруджених або тих, що споруджуються, загальною площею від 100 м² до 300 м² і заявленою (встановленою) потужністю електроприймачів від 30 кВт до 60 кВт;

3 – житло (квартири) у котеджах, будинках, споруджених або тих, що споруджуються, з розрахунку, як правило, на одну родину із загальною площею від 150 м² до 600 м² і заявленим Замовником високим рівнем комфортності, що відповідає потужності електроприймачів від 60 кВт до 140кВт.

Для житла першого виду (квартир багато- і малоквартирних будинків, будинків на одну родину і будиночків на ділянках садівничих товариств) встановлюються п'ять рівнів електрифікації і відповідні їм нормативні розрахункові питомі навантаження:

I – житло (квартири) з плитами на природному газі;

II – житло (квартири) з плитами на зрідженому газі;

III – житло (квартири) з електричними плитами потужністю до 8,5 кВт;

IV – житло (квартири) з електричними плитами потужністю до 10,5 кВт;

V – будиночки на ділянках садівничих товариств.

Для житла другого виду встановлюються два рівні електрифікації і відповідні їм нормативні розрахункові питомі навантаження:

I – житло (квартири) з плитами на природному газі;

II – житло (квартири) з електричними плитами потужністю до 10,5 кВт.

Встановлені нормативи питомих електричних розрахункових навантажень зведені в таблицю (табл. Б.1) і враховують застосування в житлово-му приміщенні побутових кондиціонерів повітря (або інших аналогічних за потужністю приладів і комфортного електричного додаткового опалення в межах 7 – 15% від загальної потреби в теплі з розрахунку 60 – 120 Вт на 1 м² додатково опалювальної площі).

Розрахункове навантаження групи житла з однаковим питомим електричним навантаженням, приведене до лінії живлення, введення в житловий будинок, шин напругою 0,4 кВ ТП, $P_{жN}$, $Q_{жN}$ визначається за формулами:

$$P_{жN} = P_{жп} N, \quad (2.1)$$

$$Q_{жN} = P_{жN} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{ж}, \quad (2.2)$$

де $P_{жп}$ – питоме розрахункове електричне навантаження одного житла (квартири), що вибирається за таблицею 1 додатку Б залежно від прийнятого рівня електрифікації і кількості квартир, приєднаних до даної ланки електромережі, кВт/житло; N – кількість житла (квартир), приєданого до введення, лінії, ТП. Питомі розрахункові електричні навантаження житла охоплюють навантаження освітлення загальнобудинкових приміщень; $\operatorname{tg} \varphi_{ж}$ – коефіцієнт реактивної потужності (табл. Б.7).

Розрахункове навантаження силових електроприймачів житлового будинку, приведене до введення, лінії або шин напругою 0,4 кВ ТП, $P_{сил}$, визначається за формулами:

$$P_{\text{сил}} = K_{\text{н.л}} \sum_1^n P_{\text{л}} + K_{\text{н.сан}} \sum_1^n P_{\text{сан}}, \quad (2.3)$$

$$Q_{\text{сил}} = P_{\text{л}} \operatorname{tg} \varphi_{\text{л}} + P_{\text{сан}} \operatorname{tg} \varphi_{\text{сан}}, \quad (2.4)$$

де $K_{\text{н.л}}$ – коефіцієнт попиту для ліфтів, що визначається за таблицею 3 додатку Б, залежно від кількості ліфтових установок і кількості поверхів будинку; $P_{\text{л1}} \dots P_{\text{лn}}$ – встановлена потужність електродвигуна кожного з ліфтів за паспортом, кВт; $P_{\text{сан1}} \dots P_{\text{санn}}$ – встановлена потужність кожного електродвигуна сантехнічних установок за їхніми паспортами, кВт; $K_{\text{н.сан}}$ – коефіцієнт попиту для електродвигунів сантехнічних установок, визначається за таблицею 4 додатку Б; $\operatorname{tg} \varphi_{\text{л}}$ і $\operatorname{tg} \varphi_{\text{сан}}$ – коефіцієнти, що враховують реактивне навантаження квартир і загальнодомових електроприймачів відповідно. Значення коефіцієнта потужності на введенні житлових будинків приймаються з таблиці 7 додатку Б.

Якщо як силове навантаження виступають ліфти різної потужності, то

$$P_{\text{с}} = (P_{\text{л1}} n_{\text{л1}} + P_{\text{л2}} n_{\text{л2}}) K_{\text{н}}, \quad (2.5)$$

де $K_{\text{н}}$ – коефіцієнт попиту ліфтів (табл. А.2); $P_{\text{л1}}=7$ кВт; $P_{\text{л2}}=11$ кВт – потужність ліфтів першого і другого типів; $n_{\text{л1}}$ і $n_{\text{л2}}$ – їхня кількість.

Розрахункове навантаження житлового будинку в цілому (від житла, силових електроприймачів і вбудованих або прибудованих приміщень) за умови, коли найбільшою складовою є навантаження від житла, $P_{\text{б.ж}}$ визначаються за формулами:

$$P_{\text{б.ж}} = P_{\text{ж}} + 0,9 P_{\text{сил}} + \sum_1^n P_{\text{гр}} K_{\text{і}} \quad (2.6)$$

$$Q_{\text{б.ж}} = Q_{\text{ж}} + 0,9 Q_{\text{сил}} + \sum_1^n Q_{\text{гр}} K_{\text{і}} \quad (2.7)$$

де $P_{\text{ж}}$ і $Q_{\text{ж}}$ – відповідно розрахункове навантаження електроприймачів житла (квартир), кВт; $P_{\text{сил}}$ і $Q_{\text{сил}}$ – відповідно розрахункове навантаження силових

електроприймачів житлового будинку, кВт; $P_{\text{зр1}} \dots P_{\text{зрn}}$ і $Q_{\text{зр1}} \dots Q_{\text{зрn}}$ – відповідно розрахункові навантаження вбудованих або прибудованих цивільних приміщень, що живляться від електрощитової житлового будинку і визначаються за методикою розрахунку навантажень громадських будівель (див. наступний розділ); $K_{y+1} \dots K_{y+n}$ – коефіцієнти участі в максимумі навантаження квартир і силових електроприймачів житлового будинку навантажень вбудованих і прибудованих приміщень, що визначаються за таблицею 6 додатку Б.

Для вибору параметрів електричних мереж необхідно знати повне навантаження:

$$S_{\text{б.ж}} = \sqrt{P_{\text{б.ж}}^2 + Q_{\text{б.ж}}^2} \quad (2.8)$$

де $P_{\text{б.ж}}$ – активне навантаження житлового будинку, кВт; $Q_{\text{б.ж}}$ – реактивне навантаження житлового будинку, кВАр;

Приклад. Визначити навантаження житлового будинку, якщо відомо, що житло в цьому будинку щодо оснащеності побутовими електроприладами відноситься до першого виду згідно з встановленими нормами з однаковим питомим електричним навантаженням. Будинок має 7 під'їздів, 9 поверхів і 252 квартири. Квартири оснащені плитами на природному газі і з побутовими кондиціонерами.

Розв'язання.

1. За виразом (2.1) визначаємо активне навантаження житла (квартир), попередньо встановивши за таблицею 1 додатку Б питоме розрахункове електричне навантаження одного житла:

$$P_{\text{жN}} = P_{\text{жн}} N = 0,84 \cdot 252 = 211,7 \text{ кВт.}$$

2. Знаходимо реактивне навантаження житла (квартир):

$$Q_{\text{жN}} = P_{\text{жн}} \cdot \text{tg} \varphi_{\text{кв}} = 211,7 \cdot 0,43 = 91 \text{ кВАр,}$$

$\text{tg} \varphi_{\text{кв}}$ – визначаємо за таблицею 6 додатку Б.

3. Знаходимо повне навантаження житла (квартир):

$$S_{\text{б.ж}} = \sqrt{P_{\text{б.ж}}^2 + Q_{\text{б.ж}}^2} = \sqrt{211,7^2 + 91^2} = 230,4 \text{ кВА}$$

4. Визначаємо силове активне навантаження житлового будинку за виразом (2.3) з урахуванням того, що як силове навантаження використовуються ліфти відповідно до рекомендацій таблиці 8 додатку Б:

$$P_{\text{сил}} = 7 \cdot 7 \cdot 0,61 = 29,9 \text{ кВт.}$$

У цьому виразі друга складова $P_{\text{сан}} = 0$, оскільки в 9-поверховому будинку не передбачається установка сантехнічних двигунів, а друга складова перетворюється у виразі (2.3) при $n_{\text{л2}} = 0$.

5. Визначаємо реактивне навантаження ліфтів:

$$Q_{\text{сил}} = P_{\text{л}} \cdot \text{tg}\varphi_{\text{л}} = 29,9 \cdot 1,17 = 34,9 \text{ кВар,}$$

$\text{tg}\varphi_{\text{л}}$ – знаходимо з таблиці 6 додатку Б.

6. Визначаємо повне силове навантаження:

$$S_{\text{сил}} = \sqrt{P_{\text{сил}}^2 + Q_{\text{сил}}^2} = \sqrt{29,9^2 + 34,9^2} = 45,9 \text{ кВА.}$$

7. Розрахункове активне навантаження житлового будинку в цілому визначаємо за виразом (2.6):

$$P_{\text{б.ж}} = 211,7 + 0,9 \cdot 29,9 + 0 = \sqrt{29,9^2 + 34,9^2} = 238,6 \text{ кВт.}$$

У цьому виразі $P_{\text{пр}}=0$, оскільки в житловому будинку відсутні вбудовані і прибудовані приміщення.

8. За виразом (2.7) визначаємо реактивне навантаження житлового будинку:

$$Q_{\text{б.ж}} = 211,7 \cdot 0,43 + 0,9 \cdot 29,9 \cdot 1,17 = 122,5 \text{ кВар.}$$

Значення коефіцієнтів потужності для квартир з плитами на природному газі і для ліфтових установок встановлюємо за таблицею 7 додатку Б.

9. Визначаємо повне навантаження житлового будинку:

$$S_{\text{б.ж}} = \sqrt{238,6^2 + 122,5^2} = 268,2 \text{ кВА.}$$

Аналогічно визначаємо навантаження всіх житлових будинків і результати зводимо в таблицю 2.1.

2.2 Розрахунок навантажень громадських і комунальних будинків

Навантаження громадських і комунальних будинків визначаємо за питомими навантаженнями на розрахунковий показник N :

$$P_{p.з.б.} = p_n N; \quad (2.9)$$

$$Q_{p.з.б.} = P_{p.з.б.} \operatorname{tg} \varphi_{з.б.}, \quad (2.10)$$

де p_n – розрахункове питоме навантаження, визначається за таблицею 11 додатку Б; $\operatorname{tg} \varphi_{з.б.}$ – коефіцієнт реактивної потужності визначається за таблицею 11 додатку Б.

Приклад. Розрахувати навантаження загальноосвітньої школи з електрифікованою їдальнею на 1320 учнів.

Розв’язання. З урахуванням $p_n = 0,25$ кВт/уч., $\operatorname{tg} \varphi = 0,33$ визначаємо розрахункове навантаження:

$$P_{p.з.б.} = p_n N = 0,25 \cdot 1320 = 330 \text{ кВт};$$

$$Q_{p.з.б.} = P_{p.з.б.} \operatorname{tg} \varphi = 330 \cdot 0,33 = 108,9 \text{ кВАр};$$

$$S_{p.з.б.} = \sqrt{P_{p.з.б.}^2 + Q_{p.з.б.}^2} = \sqrt{330^2 + 108,9^2} = 347,5 \text{ кВА}$$

Розраховані навантаження на підводах громадських і комунальних будинків зводимо в таблицю 3.2.

2.3 Розрахунок навантаження зовнішнього освітлення

Зовнішнє освітлення – внутрішньоквартальне і це освітлення вулиць.

$$P_{p.з.о.} = P_{p.вул.} + P_{p.к.о.} \quad (2.11)$$

Розрахункове внутрішньоквартального навантаження визначаємо так:

$$P_{p.к.о.} = p_{п.к.о.} F, \quad (2.12)$$

де $p_{п.к.о.} = 1,2$ кВт/га – питоме навантаження внутрішньоквартального освітлення;

F – площа мікрорайону (району), га.

Розрахункове навантаження освітлення вулиць знаходимо так:

$$P_{p.вул.} = \sum_{i=1}^m p_{п.з.о.і} L_i, \quad (2.13)$$

де L_i – довжина вулиць i -ої категорії, км; $p_{п.з.о.і}$ – питоме розрахункове навантаження освітлення вулиць i -ої категорії (табл. Б.5); m – кількість категорій вулиць.

Площу мікрорайону і довжину вулиць визначаємо в кожному конкретному випадку з урахуванням наданого плану мікрорайону і району міста.

Приклад. Визначити навантаження внутрішньоквартального і вуличного освітлення, якщо площа мікрорайону дорівнює 51,2 га, а довжина вулиці категорії Б складає 2 км.

Розв’язання.

$$P_{p.к.о.} = p_{п.к.о.} F = 1,2 \cdot 51,2 = 61,4 \text{ кВт};$$

$P_{п.з.о.}$ для вулиць категорії Б дорівнює 30 кВт/км (дод. Б, табл. 5)

$$P_{п.з.о.} = p_{п.з.о.} L = 30 \cdot 2 = 60 \text{ кВт}.$$

Таблиця 2.1 – Визначення розрахункових навантажень житлових будинків

Номер на генплані	Розрахункове навантаження житла				Розрахункове силове навантаження						Навантаження житлового будинку		
					Навантаження ліфтів				Навант. сан. техн. пр.				
	Кількість квартир n , шт.	Питоме навантаження квартир P_n , кВт	Активне навантаження $P_{ж}$, кВт	Реактивне навантаження $Q_{ж}$, кВАр	Кількість ліфтів n_1/n_2 , шт.	Установлена потужність ліфтів, $P_{л}$, кВт.	Активне навантаження, $P_{р.л}$, кВт	Реактивне навантаження, $Q_{р.л}$, кВАр	Активне навантаження, $P_{сан}$, кВт	Реактивне навантаження, $Q_{сан}$, кВАр	$P_{б.ж}$, кВт	$Q_{б.ж}$, кВАр	$S_{б.ж}$, кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	252	0,84	211,7	91	7/0	7/-	29,9	34,9			238,6	122,5	268,2

Таблиця 2.2 – Розрахунок навантажень громадських і комунальних будинків

Номер на генплані	Найменування громадських будинків	Питоме навантаження, P_n	Коефіцієнт реактивної потужності, $tg\varphi$	Розрахункове навантаження		
				$P_{р.г.б}$, кВт	$Q_{р.г.б}$, кВАр.	$S_{р.г.б}$, кВА
1	2	3	4	5	6	7
1	Школа на 1 320 місць	0,25	0,33	330	108,9	347,5
...	

2.4 Визначення навантаження мікрорайону міста

Виходячі з того, що графіки навантажень споживачів мікрорайону відрізняються, то для розрахунку навантаження мікрорайону використовуємо метод «Коефіцієнта участі в максимумі».

Розрахункове навантаження мікрорайону визначаємо за формулою

$$P_{м.р} = P_{max} + k_1 P_1 + k_2 P_2 + \dots + k_n P_n, \quad (2.14)$$

$$Q_{м.р} = Q_{max} + k_1 Q_1 + k_2 Q_2 + \dots + k_n Q_n, \quad (2.15)$$

де P_{max} і Q_{max} відповідно – найбільше з однорідних електричних навантажень; $P_1 \dots P_n$ і $Q_1 \dots Q_n$ – інші розрахункові навантаження; $k_1 \dots k_n$ – їхні коефіцієнти участі в максимумі навантажень (табл. Б.6).

Частіше за все P_{max} відноситься до однорідних житлових будинків (з одним видом кухонних плит). В цьому випадку P_{max} розраховується по формулі (2.14).

$$P_{max} = p_{н.кв.} \sum n_{кв} + 0,9 K_c (\sum P_{л1i} n_{л1i} + \sum P_{л2i} n_{л2i}), \quad (2.16)$$

$$Q_{max} = (P_{н.кв.} \sum n_{кв}) \operatorname{tg} \varphi_{rd} + 0,9 K_c (\sum P_{л1i} n_{л1i} + \sum P_{л2i} n_{л2i}) \operatorname{tg} \varphi_k, \quad (2.17)$$

де $p_{н.кв.}$ - питоме навантаження квартир при $n_{кв}$ в мікрорайоні; K_c – коефіцієнт попиту для ліфтових установок; $P_{л1i}$, $P_{л2i}$ – потужність ліфтових установок першого і другого типу відповідно; $n_{л1i}$, $n_{л2i}$ – кількість ліфтових установок першого і другого типу відповідно.

Рекомендації:

1. При орієнтовних розрахунках і при розрахунках, коли кількість квартир у мікрорайоні не перевищує 1 000, можна використовувати вираз

$$P_{р.ж} = p_{ж.б.н} G \cdot 10^{-3}, \quad (2.18)$$

де $p_{ж.б.н.}$ – питоме навантаження житлових будинків, приведене до шин РУ 0,38 кВ ТП, віднесене до 1 м² корисної площі квартир, приймається за таблицею 19 додатку Б, Вт/м²; G – корисна площа житлових будинків мікрорайону (кварталу), м².

2. З урахуванням культурно-побутових споживачів оцінка навантаження мікрорайону може розраховуватися так:

$$P_{p.mr} = (p_{пж.б.} + p_{пгр.})G \cdot 10^{-3}, \quad (2.19)$$

де $P_{пж.б.}$ – питоме навантаження житлових будинків мікрорайону, приведене до шин 0,38 кВ міських ТП, віднесене до 1 м² корисної площі квартир і приймається за таблицею 19 додатку Б; $p_{пгр.}$ – питоме навантаження культурно-побутових споживачів, приймається при наявності будинків з електроплитами, дорівнює 2,6 Вт/м², з плитами на газоподібному або твердому паливі – 2,3 Вт/м²; G – корисна площа житлових будинків мікрорайону (кварталу), м².

Якщо, крім підприємств торгівлі, громадського харчування, аптек в мікрорайоні передбачається побудувати кінотеатр і поліклініку, вираз може бути поданий у вигляді:

$$P_{p.mr} = (p_{пж.б.} + p_{пгр.}) \cdot G \cdot 10^{-3} + K_1 p_{п.к.т} n_1 + K_2 p_{п.п} n_2, \quad (2.20)$$

де $p_{п.к.т}$ – питомі значення навантажень для кінотеатрів, кВт/місце; K_1 – коефіцієнт сумісництва максимумів навантаження житлового сектора та кінотеатра; n_1 – кількість місць в кінотеатрі; K_2 – коефіцієнт сумісництва максимумів навантаження житлового сектора та поліклінік; n_2 – кількість відвідувань за зміну в поліклініці; $p_{п.п}$ – питоме значення навантаження на одне відвідування в поліклініці, кВт/відв.

Приклад 1. Визначити орієнтовне навантаження мікрорайона на шинах 0,4 кВ ТП, в якому будуть побудовані житлові будинки висотою 12–16 поверхів з електроплитами. Загальна площа квартир житлових будинків $S = 250$ тис. м². Крім підприємств торгівлі, громадського харчування, аптек та інших закладів мікрорайонного значення передбачається побудувати кінотеатр на 1 200 глядачів та поліклініку на 750 відвідувань за зміну.

Розв’язання.

$$P_{p.mr} = (p_{пж.б.} + p_{пгр.}) \cdot G \cdot 10^{-3} + K_1 p_{п.к.т} n_1 + K_2 p_{п.п} n_2 =$$

$$(21,5 + 2,6) 250 \cdot 10^3 \cdot 10^{-3} + 0,9 \cdot 0,12 \cdot 1200 + 0,7 \cdot 0,15 \cdot 750 = 6234 \text{ кВт.}$$

$P_{п.к.т} = 0,12$ кВт/місце, $P_{п.п} = 0,15$ кВт/відвід. – визначались за таблицю 11 додатку Б. $K_1 = 0,9$, $K_2 = 0,7$ – за таблицею 6 додатку Б.

Приклад 2. Визначити навантаження мікрорайону, якщо відомо, що кількість квартир у мікрорайоні 940, 15 ліфтів потужністю 4 кВт, 7 ліфтів потужністю 7 кВт. Квартири оснащені газовими плитами. Навантаження підприємств громадського харчування (їдальні, кафе, ресторани) складає 150 кВт ($tg\varphi = 0,2$), загальноосвітні школи – 200 кВт ($tg\varphi = 0,33$), підприємства торгівлі – 350 кВт ($tg\varphi = 0,65$). Внутрішньоквартальне освітлення – $P_{п.к.о.} = 61,4$ кВт. Освітлення – $P_{п.бул.} = 60$ кВт

Розв’язання.

Визначаємо навантаження однотипних житлових будинків за формулами (2.15) і (2.16):

$$P_{max} = 0,61 \cdot 940 + 0,9 \cdot 0,39 \cdot (15 \cdot 4 + 7 \cdot 7) = 572 + 38,1 = 610 \text{ кВт},$$

$$Q_{max} = 0,61 \cdot 940 \cdot 0,29 + 0,9 \cdot 0,39 (15 \cdot 4 + 4 \cdot 7) \cdot 1,17 = 210,8 \text{ кВАр}$$

Реактивне навантаження громадських споживачів визначаємо по формулі (2.10).

Розрахунок навантаження мікрорайону виконуємо виходячі з формул (2.14), (2.15) за таблицею 2.3.

Таблиця 2.3 – Розрахунок навантаження мікрорайону міста

Найменування споживачів	P_p , кВт	Q_p , кВАр	$K_1 \dots K_n$	$P_p \cdot K_i$, кВт	$Q_p \cdot k_i$, кВАр
Житлові будинки	610,0	210,8	1,0	610	210,8
Підприємства громадського харчування	150,0	30,0	0,4	60	12,0
Загальноосвітні школи	200,0	66,0	0,4	80	26,4
Підприємства торгівлі	350,0	227,5	0,4	140	91,0
Зовнішнє освітлення	60,0	–	1	60	–
Разом				950	340,2

* K_1 – коефіцієнт участі в максимумі для зовнішнього освітлення $K_{м.о.} = 1,0$

Визначаємо повну потужність навантаження мікрорайону:

$$S_{m.p.спож} = \sqrt{950^2 + 340,2^2} = 1\,009,1 \text{ кВАр.}$$

Тепер необхідно в навантаженні мікрорайону врахувати втрати в трансформаторах і лініях.

$$\Delta P_{тр} = 0,02 \cdot S_{m.p.спож} = 1\,009,1 \cdot 0,02 = 20,2 \text{ кВт,}$$

$$\Delta Q_{тр} = 0,02 \cdot S_{m.p.спож} = 1\,009,1 \cdot 0,1 = 100,9 \text{ кВАр,}$$

$$\Delta P_{л} = 0,03 \cdot S_{m.p.спож} = 1\,009,1 \cdot 0,03 = 30,3 \text{ кВт.}$$

Визначаємо навантаження мікрорайону міста з врахуванням втрат в трансформаторах.

$$P_{p.m} = P_{p.спож} + \Delta P_{тр} + \Delta P_{л} = 950 + 20,2 + 30,3 = 1\,000,5 \text{ кВт,}$$

$$Q_{p.m} = Q_{p.спож} + \Delta Q_{тр} = 340,2 + 100,9 = 441,1 \text{ кВАр,}$$

$$S_{p.m.p} = \sqrt{1\,000,5^2 + 441,1^2} = 1\,092,4 \text{ кВА.}$$

3 ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ ПІДСТАНЦІЙ В МІКРОРАЙОНІ

Кількість підстанцій, необхідну для живлення мікрорайону, визначаємо за виразом

$$n_{ТП} = \frac{P_{p.m.p.}}{\kappa_3 S_{н.тр} n_{тр} \cos \varphi}, \quad \text{або} \quad \frac{S_{p.m.p.}}{\kappa_3 S_{н.тр} n_{тр}}, \quad (3.1)$$

де κ_3 – коефіцієнт завантаження трансформатора в нормальному режимі; $S_{н.тр}$ – прийнята потужність трансформаторів ТП; $\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності; $n_{тр}$ – кількість трансформаторів на ТП.

Рекомендації.

Вибір потужності ТП відноситься до техніко-економічних задач. Підвищення потужності ТП приводить до зменшення їхнього числа і відповідно вартості, але при цьому ускладнюється розподільна мережа низької напруги, і, навпаки, зниження потужності ТП приводить до збільшення їхнього числа і вартості, але розподільна мережа низької напруги виявляється легше і відповідно дешевше. Таким чином, повинна існувати оптимальна потужність ТП, що відповідає мінімумові річних приведених витрат. Річні приведені витрати, що залежать від потужності ТП, повинні

включати вартість розподільних мереж середньої і низької напруги і вартість втрат електроенергії в них, вартість ТП і втрат електроенергії у трансформаторах.

Але на попередніх етапах розрахунку не всі вихідні дані ще відомі. Тому з огляду на досвід проектування та обмеження через різні технічні обмеження, потужність трансформаторів для міських ТП обмежується, як правило, величинами 400 і 630 кВА. А з огляду на те, що висота забудови в даний час збільшується і складає не менше 12 поверхів, що збільшує поверхневу щільність навантаження, цілком обґрунтовано на перших етапах розрахунків приймати трансформаторні підстанції 2×630 кВА з коефіцієнтом завантаження в нормальному режимі одного трансформатора, рівному 0,7.

Приклад. Визначити кількість підстанцій в мікрорайоні, якщо його потужність навантаження $S_{м.р.} = 2\,259,9$ кВА.

Розв'язання. З огляду на поверховість, щільність забудови мікрорайону і категорію електричних приймачів, вибираємо потужність трансформаторів 630 кВт і кількість трансформаторів у ТП –2 (формула 3.1).

$$n_{ТП} = \frac{2\,259,9}{0,7 \cdot 630 \cdot 2} = 2,6 \approx 3 \text{ шт.}$$

4 РОЗПОДІЛ НАВАНТАЖЕННЯ МІКРОРАЙОНУ ПО ПІДСТАНЦІЯХ

Розподіл навантаження по підстанціях здійснюємо з урахуванням викладеного вище в попередніх розділах (розрахунок навантаження здійснюємо за методикою розрахунку навантаження мікрорайону).

Приклад. Розподілити навантаження фрагмента мікрорайону (рис. 4.1):

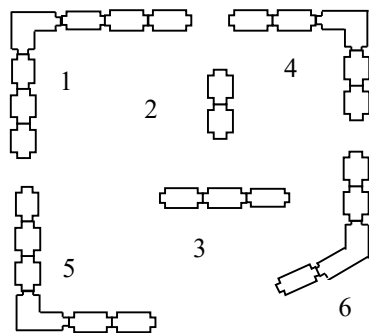


Рисунок 4.1

Дані для розрахунку наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 Вихідні дані

Номер на плані	Найменування	Кількість під'їздів	Кількість поверхів	Кількість квартир
1	Житловий будинок	7	9	252
5	Житловий будинок	6	9	216
6	Житловий будинок	4	9	144
2	Житловий будинок	2	9	72
3	Житловий будинок	3	9	108
4	Житловий будинок	5	9	180

Внутрішньоквартальне освітлення – 10 кВт, вуличне освітлення – 25 кВт.

Будинки оснащені плитами на природному газі.

Розв'язання. Припустимо, що всі будинки живляться від однієї підстанції потужністю 2×630 кВА. Оскільки в цій частині мікрорайону знаходяться тільки житлові будинки, розрахункове навантаження цієї частини мікрорайону, що приходить на трансформаторну підстанцію за аналогією з виразом (2.16) з урахуванням ліфтових установок:

$$P_{ж.б.тл} = 0,604 \cdot 972 + 0,9 \cdot 0,35 \cdot 27 \cdot 7 = 646,6 \text{ кВт},$$

$$Q_{ж.б.тл} = 0,604 \cdot 972 \cdot 0,29 + 0,9 \cdot 0,35 \cdot 27 \cdot 7 \cdot 1,17 = 239,9 \text{ кВАр},$$

де 0,604 – питоме навантаження, при кількості квартир в мікрорайоні 972 знаходимо за таблицею 1 додатку Б; 0,35 – коефіцієнт попиту ліфтових установок при їх кількості 27; 0,29 – $\tan \varphi_{кв}$; 1,17 – $\tan \varphi_{л}$.

При визначенні кількості ліфтових установок треба користуватися рекомендаціями, які приведені в таблиці 8 додатку Б.

Визначаємо повну активну потужність ТП, віднесену до шин 0,4 кВ з урахуванням внутрішньоквартального й вуличного освітлення:

$$P_{ТП} = 646,6 + 10 + 25 = 681,6 \text{ кВт}.$$

Знаходимо повну потужність підстанції:

$$S_{ТП} = \sqrt{681,6^2 + 239,9^2} = 722,6 \text{ кВА}.$$

Коефіцієнт завантаження в нормальному режимі:

$$\kappa_{зн} = \frac{S_{ТП}}{n_{ТП} S_{тр}} = \frac{722,6}{2 \cdot 630} = 0,57.$$

Коефіцієнт завантаження в післяаварійному режимі:

$$\kappa_{за} = \frac{S_{ТП}}{S_{тр}} = \frac{722,6}{630} = 1,151,2.$$

Оптимальні коефіцієнти завантаження $\kappa_{зн} = 0,6 - 0,8$; $\kappa_{за} = 1,2 - 1,6$.

Аналогічно можна розподіляти навантаження серед інших ТП. При цьому треба звернути увагу, що при додаванні навантажень різних груп споживачів треба враховувати коефіцієнти участі в максимумі (табл. Б.6).

Усі розрахунки зводимо в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Розрахунок навантаження трансформаторних підстанцій

№ ТП	Найменування споживачів і номера на п плані	P_p , кВт	Q_p , кВАр	$K_{уч}$ в мак.	$P_p \cdot K_{уч}$, кВт	$Q_p \cdot K_{уч}$, кВАр	$S_{p,mn}$, кВАр	Коеф.тр-ра	
								$K_{зн}$	$K_{за}$
1	Ж.б. з газ. кух. пл. (1,5,6,2,3,4)	646,6	239,9	1	646,6	239,9			
	Зовн. Осв.	35	-	1	35	-			
разом					681,6	239,9	722,6	0,57	1,15

5 РОЗМІЩЕННЯ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ НА ПЛАНІ МІКРОРАЙОНУ ТА КАРТОГРАМИ НАВАНТАЖЕНЬ

Картограму будуємо за умовою, що площі кіл картограми (F_i) в обраному масштабі (m) є розрахуновими, повними навантаженнями житлових будинків і комунально-громадських навантажень (S_{pi}). Тоді радіуси кожного кола визначаємо за виразом:

$$r = \sqrt{\frac{S_{pi}}{\pi \cdot m}}. \quad (5.1)$$

Іноді виникає необхідність на площі кола виділити силове навантаження, або освітлювальне. В цьому разі необхідно розрахувати величину сектора кола за формулою:

$$\alpha_i = \sqrt{\frac{S_{осв.і.} \cdot 360}{S_{pi}}}. \quad (5.2)$$

Для визначення місця розташування трансформаторної підстанції визначаємо центр електричних навантажень. Побудову картограми виконуємо на підставі результатів визначення розрахункових навантажень житлових будинків, наведених в таблиці 2.1.

Центр навантажень приймаємо співпадаючим з центром ваги будинку. Це допущення обумовлене тим, що невідомий розподіл приймачів електроенергії по площині будинку. Для визначення місця розташування трансформаторної підстанції знаходимо центр електричних навантажень підстанції за допомогою аналітичного методу додавання паралельних навантажень, що базується на теорії проекцій. На генплан мікрорайону довільно наносимо осі координат і координати центру електричних навантажень знаходимо за формулами:

$$X_0 = \frac{\sum S_{pi} X_i}{\sum S_{pi}}; \quad (5.3)$$

$$Y_0 = \frac{\sum S_{pi} Y_i}{\sum S_{pi}}, \quad (5.4)$$

де X_0, Y_0 – координати центру навантажень; X_i, Y_i – координати центру навантажень i -го будинку; S_{pi} – розрахункове, повне навантаження будинку.

Приклад 1. Визначити центр електричних навантажень підстанції для фрагмента плану мікрорайону:

Розрахункове навантаження житлових будинків становить: 1 – 120 кВА; 2 – 63 кВА; 3 – 85 кВА; 4 – 105 кВА; 5 – 110 кВА; 6 – 75 кВА.

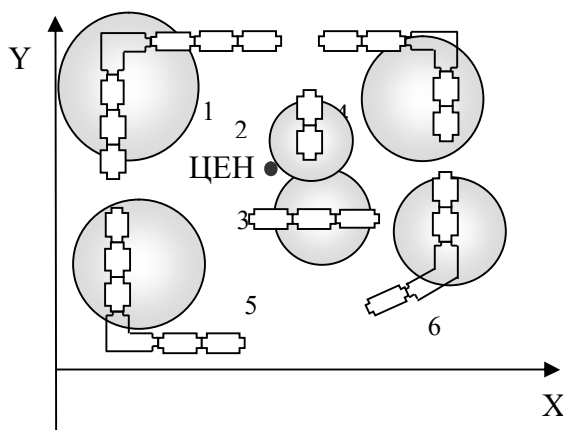


Рисунок 5.1 – План фрагмента мікрорайону

Розв'язання. Відповідно до плану фрагмента мікрорайону й електричних навантажень за формулами (5.2) і (5.3) знаходимо центр електричних навантажень:

$$X_0 = \frac{120 \cdot 20 + 63 \cdot 35 + 85 \cdot 35 + 105 \cdot 43 + 110 \cdot 18 + 75 \cdot 45}{558} = 31,3 \text{ мм};$$

$$Y_0 = \frac{120 \cdot 38 + 63 \cdot 35 + 85 \cdot 23 + 105 \cdot 39 + 110 \cdot 15 + 75 \cdot 20}{558} = 28,6 \text{ мм}.$$

Всі значення зводимо в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Розрахункові дані для визначення центру електричних навантажень підстанції

Номер за планом	S_{pi} , кВА	X_i , мм	Y_i , мм	$S_{pi} \cdot X_i$, кВА·мм	$S_{pi} \cdot Y_i$, кВА·мм
1	2	3	4	5	6
1	120	20	38	2 400	4 560
2	63	35	35	2 205	2 205
1	2	3	4	5	6
3	85	35	23	2 975	1 955
4	105	43	39	4 515	4 095
5	110	18	15	1 980	1 650
6	75	45	20	3 375	1 500
Всього	558			17 450	15 965

При визначенні центру електричних навантажень підстанцій на місцевості слід враховувати масштаб зображеного мікрорайону на плані.

Приклад 2. Побудувати картограму навантажень для житлового будинку, коли відомо, що повне навантаження житлового будинку $S_{з.жс} = 250$ кВт, а силове навантаження складає $S_{сил} = 45$ кВА.

За виразом (5.1) будуємо картограму навантажень для житлового будинку попередньо прийнявши масштаб $m = 0,2$ кВА/мм².

$$r = \sqrt{\frac{S_{pi}}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{250}{3,14 \cdot 0,2}} = 19,9 \text{ мм}.$$

Сектор кола, що показує величину силового навантаження у загальному навантаженні житлового будинку, визначаємо так:

$$\alpha = \frac{S_{сил} \cdot 360}{S_{pi}} = \frac{45 \cdot 360}{250} \approx 64 \text{ град.}$$

Значення для кожного будинку зводимо в таблицю 5.2.

Таблиця 5.2 – Розрахункові дані для побудови картограми навантажень

Номер будинку за планом	S_{pi} , кВА	$S_{сил}$, кВА	R , мм	α , град.
1	2	3	4	5
1	250	45	19,9	64
—	—	—	—	—

Центр електричних навантажень і картограму зображуємо на плані, при цьому силове навантаження виділяємо у вигляді сектора, як показано на рисунку 5.2.

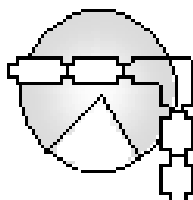


Рисунок 5.2 – Зображення картограми навантажень житлового будинку

6 ВИБІР СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ РАЙОНУ МІСТА

Трансформаторні підстанції за планом мікрорайону розподіляємо відповідно до раніше проведених розрахунків, як це показано на рисунку 6.1.

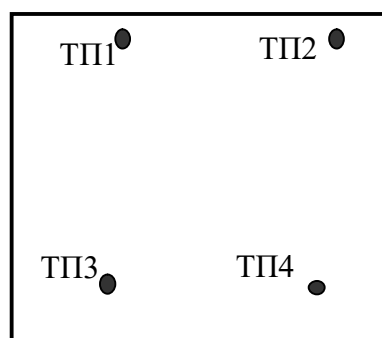


Рисунок 6.1 – План мікрорайону і розподіл трансформаторних підстанцій

Нехай район міста складається з однакових мікрорайонів. Якщо в завданні визначена кількість мікрорайонів – 4, тоді план району міста виглядатиме, як на рисунку 6.2:

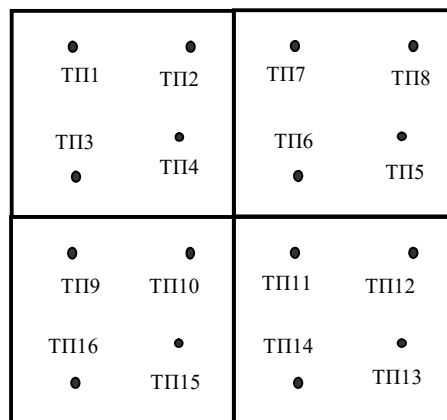


Рисунок 6.2 – План району міста і розташування трансформаторних підстанцій

6.1 Вибір і розрахунок живильної мережі напругою 10 кВ

При виборі схеми електропостачання необхідно враховувати наявність джерел живлення в місті, їх кількість, віддаленість від споживачів, доцільність додаткових розподільних пунктів. Доцільність спорудження РП і живильних ліній повинна бути обґрунтована в кожному випадку техніко-економічними розрахунками. Розподільні пункти і живильні лінії споруджувати доцільно з економічної точки зору при щільності електричного навантаження не менше за 5 МВт/км^2 і при відстані живильного району від джерела більше 3 – 4 км. Навантаження на шинах РП 10 кВ має бути не менше 7 МВт. Розподільні пункти слід розміщувати в районі міста таким чином, щоб напрямок потоків енергії в живильній і розподільних мережах 10 кВ, по можливості, співпадав. При цьому зменшуються втрати енергії та скорочується витрати кабеля. Економічно доцільно розташовувати РП 10 кВ потужністю 14 – 20 мВА на території живлючого ним району між найближчою до джерела живлення межею і центром навантаження, заглиблюючись в район обслуговування на 10 – 15 % від його відстані. Менші за потужністю РП треба

розташовувати поблизу межі живлючого району. Розподільний пункт і найближчі до нього ТП доцільно суміщати.

Визначаємо повну потужність, яку споживає район міста:

$$P_{p.m} = n \sum P_{m.p.}, \quad (6.1)$$

де n – кількість мікрорайонів у районі міста.

Загальну кількість РП в районі міста знаходимо з урахуванням оптимальної потужності РП:

$$n_{RP} = \frac{P_{p.m.}}{P_{RP.on}}, \quad (6.2)$$

де $P_{RP\ opt}$ – оптимальна потужність РП, що рекомендується при поверхневій щільності навантаження 3 МВт/км² – 8 МВт; при 5 МВт/км² – 11 МВт; при 8 МВт/км² – 14 МВт; при 10 МВт/км² – 16 МВт; при 15 МВт/км² – 18 МВт.

Для визначення поверхневої щільності навантаження треба знати площину F_m району міста, що охоплена мережею середньої напруги та повне навантаження $P_{p.m}$:

$$\sigma = \frac{P_{p.m.}}{F_m}. \quad (6.3)$$

Приклад. Вибрати живильну мережу 10 кВ для електропостачання району міста, коли відомо, що район міста складається з 6 мікрорайонів, є одне джерело живлення, розташоване у західній частині району та віддалене від його межі на відстань 6 км. Навантаження району міста складає $P_{p.m} = 21\ 600$ кВА, а його площа 4 км².

Розв'язання.

Поверхнева щільність навантаження становить:

$$\sigma = \frac{P_{p.m}}{F_m} = \frac{21\ 600}{4} = 5,4 \text{ МВт/км}^2.$$

Оптимальна потужність РП для цієї поверхневої щільності навантаження складає 11 МВт, тоді кількість РП для цього району дорівнює 2 ($21,6 / 11 \approx 2$), виходячи із загальної кількості, навантаження перерозподілиться між РП по $21\ 600 / 2 = 10\ 800$ кВт. Оскільки потужність РП невелика,

розташовуємо їх на межі району міста з однаковою віддаленістю від джерела живлення (рис. 6.3).

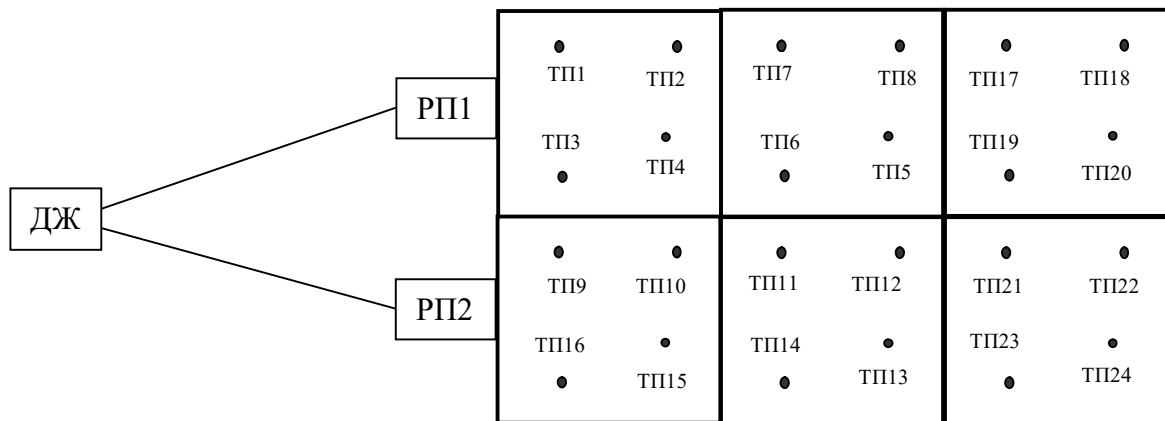


Рисунок 6.3 – Побудова живильної лінії 10 кВ

Живильні лінії виконуємо декількома паралельно працюючими кабелями із загальним вимикачем на кожній лінії. Принципова схема з урахуванням побудови та резервування секцій розподільних пунктів подана на рисунку 6.4.

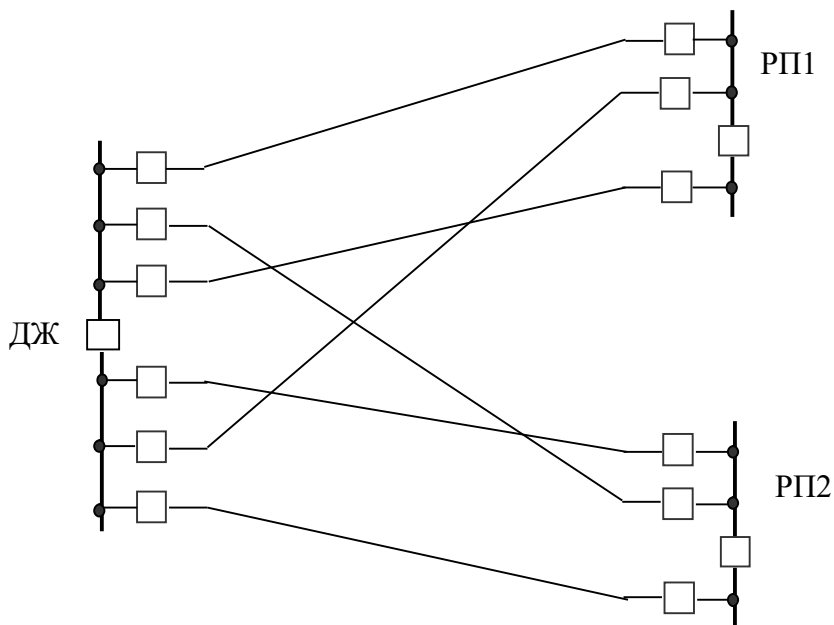


Рисунок 6.4 – Принципова схема живильних ліній

Для розрахунку такої схеми необхідно знати навантаження на РП. Оскільки це навантаження задане в умові прикладу, то ми його й приймаємо.

Якщо треба знайти шляхом додавання навантажень підстанцій, що підключені до РП, то воно визначається так:

$$S_{РП} = K_{см} \sum S_{ТП}, \quad (6.4)$$

де $K_{см}$ – коефіцієнт суміщення максимуму навантаження ТП, що живляться від даного РП (табл. Б.9).

Визначаємо повну потужність навантаження РП

$$S_{РП} = \frac{10\,800}{0,9} = 12\,000 \text{ кВА.}$$

Знаходимо струм лінії:

$$I_{л} = \frac{S_{РП}}{\sqrt{3}U_{н}n_{л}} = \frac{12\,000}{1,73 \cdot 10 \cdot 3} = 231 \text{ А,}$$

де $n_{л}$ – кількість ліній, що живлять РП.

Визначаємо переріз лінії:

$$F_{л} = \frac{I_{л}}{J_{ек}} = \frac{231}{1,4} = 165 \text{ мм}^2,$$

де $J_{ек}$ – економічна щільність струму (дод. Б, табл. 10) .

Задаємося кількістю кабелів у лінії – 2, тоді переріз кабеля визначається так:

$$F_{каб.} = F_{л}/2 = 165/2 = 82,5 \text{ мм}^2.$$

За ДГСТ приймаємо кабель перерізом 95 мм². Допустимий струм кабеля $I_{нрпн} = 205 \text{ А}$ (табл. Б.12).

Перевіряємо кабель за припустимим струмом на нагрівання:

$$I_p \leq \kappa_n I_{нрпн}, \quad (6.5)$$

де I_p – робочий струм кабеля; κ_n – коефіцієнт, що враховує умови прокладання (табл. Б.13); $I_{нрпн}$ – припустимий струм кабеля.

В одній лінії 2 кабелі, тому $\kappa_n = 0,93$

$$I_p^n = \frac{S_{РП}}{\sqrt{3}U_{н}n_{л}} = \frac{12\,000}{1,73 \cdot 10 \cdot 3 \cdot 2} = 115,5 \text{ А.}$$

$$115,5 \leq 0,93 \cdot 205; \quad 115,5 \leq 190.$$

Перевіряємо роботу кабеля в післяаварійному режимі. Допускаємо, що найбільш важким аварійним режимом для даної схеми є пошкодження однієї лінії, тоді живлення РП здійснюється по двох лініях і аварійний струм в цьому випадку визначається так:

$$I_p^{ПА} = \frac{S_{РП}}{\sqrt{3} U_n n_{л}} = \frac{12\,000}{1,73 \cdot 10 \cdot 2 \cdot 2} = 173,4 \text{ А.}$$

В умовах післяаварійної роботи повинна дотримуватись умова:

$$I_p^{ПА} \leq \kappa_{пер} \kappa_n I_{нрпн}, \quad (6.6)$$

де $\kappa_{пер}$ – коефіцієнт перевантаження, що враховує збільшення припустимого струму кабеля в післяаварійному режимі (табл. Б.14).

У нормальному режимі кабель завантажений на 70% ($115,5/166 \cdot 100 = 70$). Тому в післяаварійному режимі вираз (6.6) має вигляд:

$$173,4 \leq 1,15 \cdot 0,93 \cdot 205; \quad 173,4 \leq 219,2.$$

Умова дотримується, тобто переріз кабеля приймаємо рівним 95 мм².

6.2 Вибір розподільної мережі напругою 0,4 і 10 кВ

Схема електропостачання району міста розробляється з урахуванням розміщення джерел живлення та споживачів, величини їхньої напруги та потужностей, необхідної надійності, розташування та конструктивного виконання ліній, РП і міських ТП.

Згідно з ПУЕ електроприймачі діляться на три категорії.

До першої категорії належать електроприймачі, перерва електропостачання яких може спричинити небезпеку для життя людей і порушення функціонування особливо важливих елементів міського господарства. До їх складу входять: електроприймачі висотних (більше 16 поверхів) будівель, в тому числі ліфти, пожежні насоси, аварійне освітлення, вузли радіозв'язку, телефонні й телеграфні станції, протипожежні установки, водопровід, каналізація, електрифікований транспорт, споруди та об'єкти з масовим скупченням людей, що діють при штучному освітленні (театри, кіно, клуби, великі стадіони, універмаги тощо),

особливі операційні палати, лікарні, пологові будинки, пункти невідкладної медичної допомоги, музеї та виставки міського значення, міські ЦП (РП) із загальним навантаженням більше 10 000 кВА та ін.

До другої категорії належать електроприймачі, перерва в електропостачанні яких призводить до порушення нормальної діяльності значної кількості міських жителів. До їх складу входять: житлові будинки з електроплитами, житлові будинки висотою 6 поверхів і більше з газовими плитами, гуртожитки на 50 осіб і більше, будівлі закладів з кількістю працюючих від 50 до 2 000 осіб, дитячі й медичні заклади, аптеки, криті видовищні та спортивні споруди з кількістю місць у залі від 300 до 800, відкриті спортивні споруди зі штучним освітленням при наявності 20 рядів і більше, підприємства громадського харчування з кількістю посадкових місць від 100 до 500, магазини з торговельною площею від 250 м² до 2 000 м², комбінати побутового обслуговування, ательє з кількістю робочих місць більше 50, салони-перукарні з кількістю робочих місць 10 і більше, хімчистки, пральні, навчальні заклади з кількістю учнів від 200 до 1 000 осіб, музеї та виставки місцевого значення, готелі з кількістю місць від 200 до 1 000, бібліотеки, міські ЦП (РП) і ТП із загальним навантаженням від 400 кВА до 10 000 кВА.

До третьої категорії відносяться всі інші електроприймачі, що не підходять під визначення першої і другої категорій.

Електроприймачі першої категорії повинні забезпечуватися електроенергією від двох незалежних джерел живлення, перерва в їх електропостачанні може бути допущена тільки на час автоматичного вводу резервного живлення. Незалежними джерелами живлення є дві секції або системи шин однієї чи двох електростанцій і підстанцій. Як друге незалежне джерело живлення можуть використовуватись автономні джерела живлення (аккумуляторні батареї, дизельні електростанції тощо) і резервні зв'язки по мережі напругою 0,4 кВ від найближчої ТП, що живляться по мережі 10 кВ від іншого незалежного джерела.

Електроприймачі другої категорії рекомендується забезпечувати електроенергією від двох незалежних джерел живлення. Для таких

електроприймачів допустимі перерви в електропостачанні на час, необхідний для включення резервного живлення діями чергового персоналу або виїзної оперативної бригади.

Живлення електроприймачів другої категорії, як правило, слід передбачати від одностансформаторних ТП за умови організації централізованого резерву трансформаторів і забезпеченні можливості заміни пошкодженого трансформатора за час не більше однієї доби. Для цих електроприймачів допускається резервування у післяаварійному режимі шляхом улаштування тимчасових зв'язків напругою 0,4 кВ.

Електроприймачі третьої категорії можуть житися від одного джерела живлення. Допустимі перерви в електропостачанні на час, необхідний для подачі тимчасового живлення, ремонту чи заміни пошкодженого елемента системи електропостачання, але не більше ніж на одну добу.

Для електропостачання споживачів третьої категорії в селищах міського типу при повітряному виконанні 0,4 і 10 кВ застосовується радіально-магістральна розподільна мережа 0,4 і 10 кВ без резервування ліній і трансформаторів. Така мережа характеризується найменшими капіталовкладеннями на здійснення електропостачання споживачів через відсутність резервування елементів мережі та вибір параметрів всіх елементів тільки за умовами нормального режиму роботи (рис. 6.5).

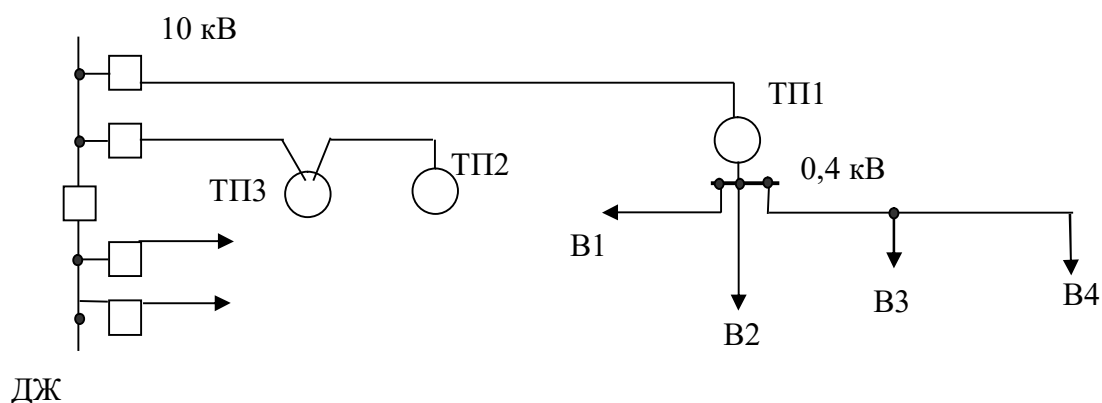


Рисунок 6.5 – Радіально-магістральна розподільна мережа 0,4 і 10 кВ

Основний принцип побудови розподільної мережі для електроприймачів третьої категорії – це поєднання петльових резервованих ліній напругою 10 кВ з метою двобічного живлення кожної ТП і радіальних нерезервованих ліній 0,4 кВ до споживачів. При живленні мережі напругою 10 кВ повітряними лініями їх резервування може не передбачатися.

Головним принципом побудови розподільної мережі для електроприймачів другої категорії є поєднання петльових ліній 10 кВ, що забезпечують двобічне живлення кожної ТП, і петльових ліній напругою 0,4 кВ для живлення споживачів. Петльові лінії напругою 0,4 кВ можуть приєднуватися до однієї або різних ТП. Допускається використання автоматизованих схем (двопроменевих наприклад) для живлення електроприймачів другої категорії, якщо їх застосування призводить до збільшення приведених витрат на спорудження мережі не більше ніж на 5 %.

Петльова неавтоматизована розподільна мережа 0,4 і 10 кВ (рис. 6.6) застосовується для приймачів другої категорії. Живлення петлі здійснюється як від різних джерел живлення (ДЖ1, ДЖ2; ТП6, ТП12), так і від одного (ДЖ1; ТП4). У нормальному режимі петльові лінії 10 кВ роз'єднуються на одній з ТП (ТП10 або ТП11). Для кабельних ліній 0,4 кВ економічно доцільна робота при замкнених петльових схемах з встановленням розділяючого, плавкого запобіжника в лінії з найменшим потоком потужності. У процесі експлуатації в ряді випадків у нормальних режимах петльові лінії 0,4 кВ роз'єднуються аналогічно лініям 10 кВ.

Петльові мережі рекомендуються як основні для електропостачання споживачів другої і третьої категорій житлових районів міста. За технічними і техніко-економічними показниками цей тип петльових розподільних мереж застосовується при житловій забудові будинків до 9–12 поверхів. Якщо є в наявності ТП, що живлять споживачів першої категорії, то в петльових мережах може застосовуватися вибіркове резервування електропостачання, із використанням автоматизації ввімкнення резерву. Петльові неавтоматизовані розподільні мережі при встановленні лінійних вимикачів навантаження з автоматизованим управлінням

райони із забудовою спорудами в 12–15 поверхів і вище та із значною частиною електроприймачів першої категорії.

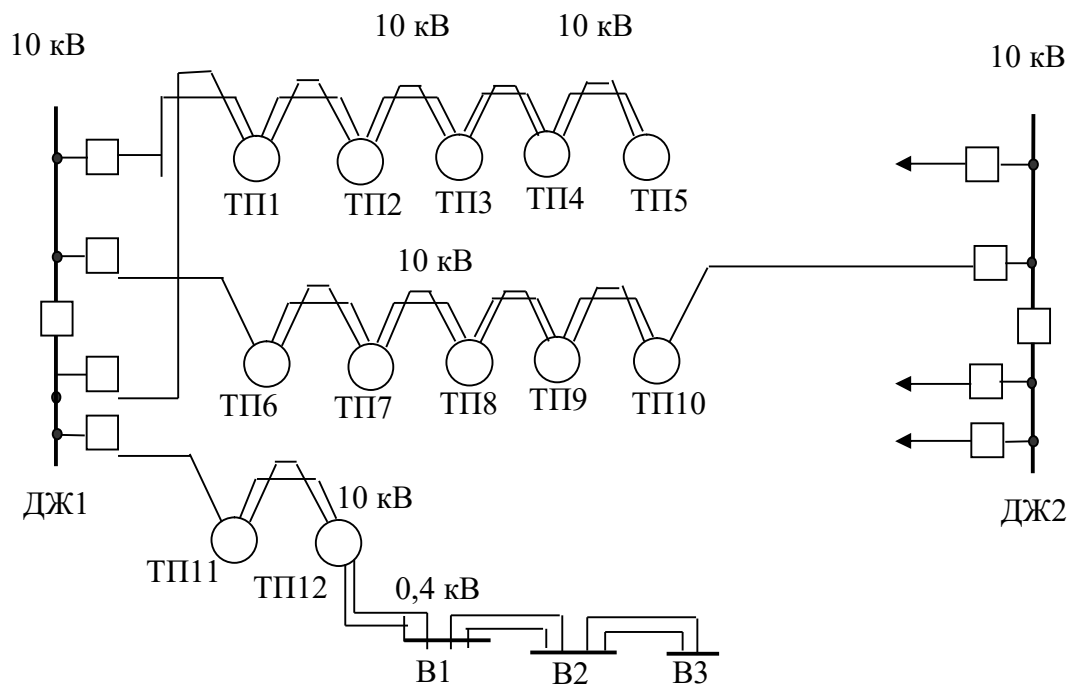


Рисунок 6.7 – Радіально-магістральна автоматизована мережа 0,4 і 10 кВ

При живленні одночасно приймачів першої, другої і третьої категорії часто використовують комбіновані двопротиневі-петльові схеми розподільної мережі 10 кВ (рис. 6.8).

При застосуванні схеми живлення, що зображена на рисунку 6.5, як правило, використовують однотрансформаторні схеми ТП (рис. 6.9). При використанні магістральних розподільних мереж 10 кВ і однотрансформаторних ТП (рис. 6.10).

Для більш відповідальних споживачів застосовують двотрансформаторні ТП з автоматизованим резервуванням з боку 10 кВ і з АВР з боку 0,4 кВ, виконані із застосуванням контакторів або автоматичних вимикачів (рис. 6.11).

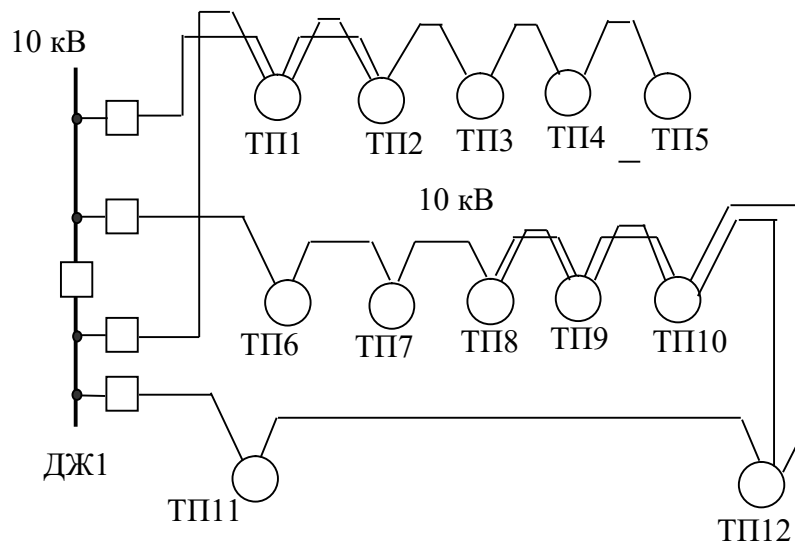


Рисунок 6.8 – Комбінована двопроменево-петльова схема розподільної мережі напругою 10 кВ

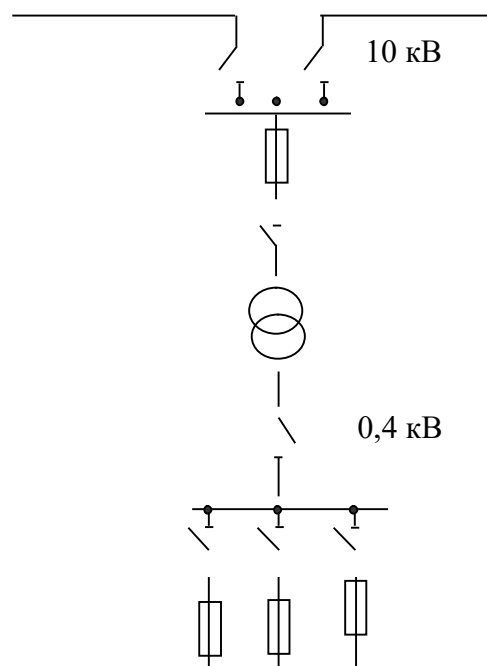


Рисунок 6.9 — Схема одно трансформаторної підстанції без автоматизованого резервування з боку 10 кВ

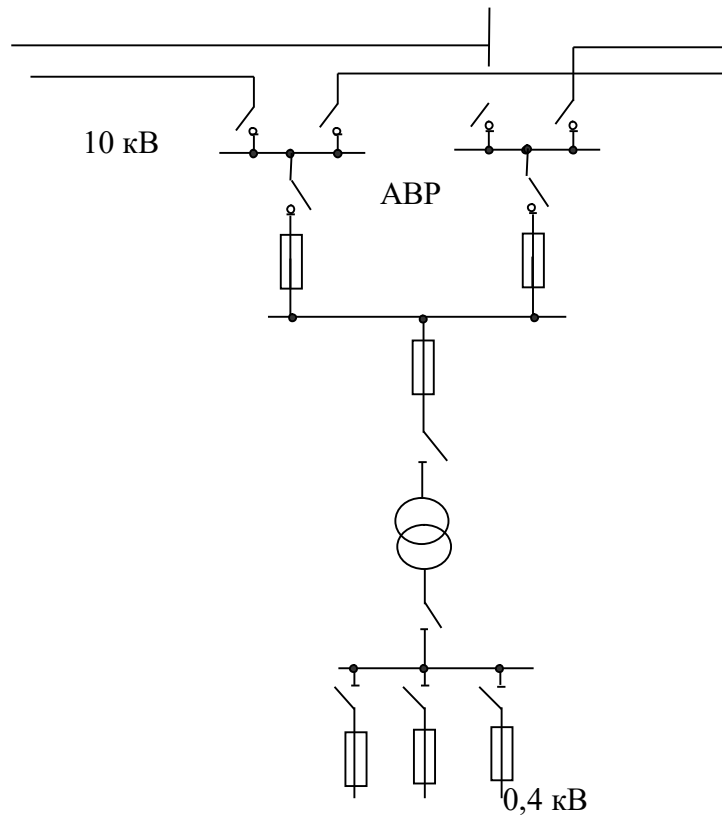


Рисунок 6.10 – Схема одотрансформаторної ТП з АВР з боку 10 кВ із застосуванням вимикачів навантаження

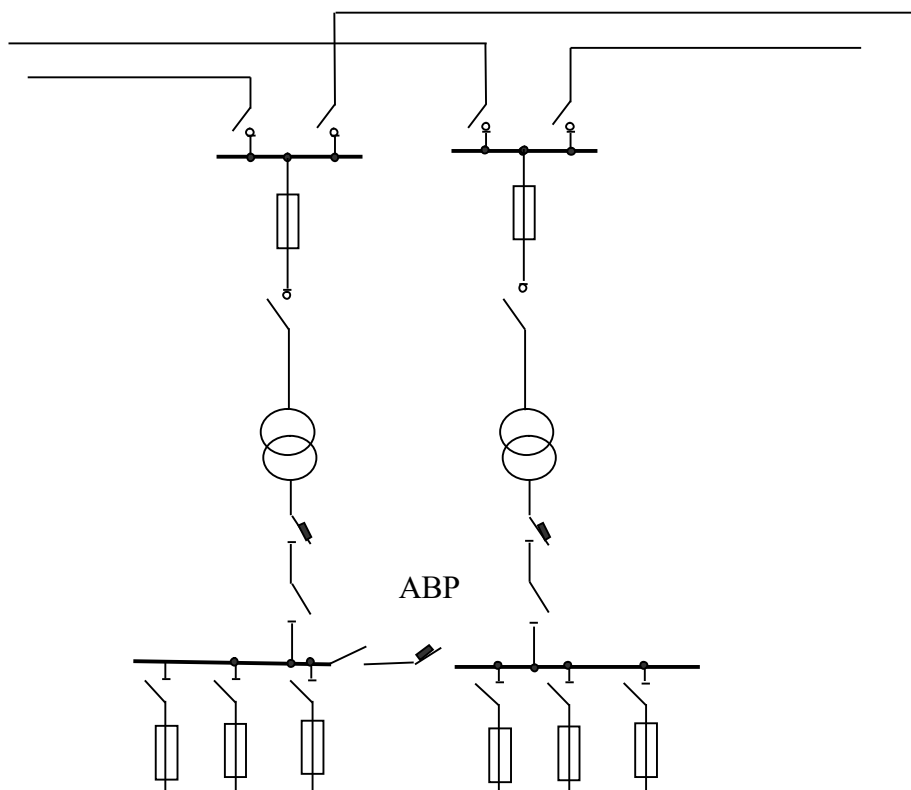


Рисунок 6.11 – Схема двотрансформаторної ТП з автоматизованим резервуванням з боку 10 кВ і з АВР з боку 0,4 кВ із застосуванням автоматичних вимикачів

Рекомендації.

Для вибору схем електропостачання окремих споживачів на напрузі 0,4 кВ і 10 кВ доцільно виділяти райони міста, що характеризуються наявністю:

- а) в основному тільки електроприймачів другої і третьої категорії;
- б) більшої кількості споживачів, які мають електроприймачі першої категорії.

Для таких груп і здійснюється побудова розподільних мереж 0,4 і 10 кВ відповідно зі схемами, наведеними в цьому розділі.

У випадку, якщо економічно недоцільно здійснювати розподіл на ці групи, здійснюють електропостачання від однієї мережі, при цьому повинні виконуватися вимоги до електропостачання електроприймачів першої категорії.

Для електропостачання районів міста із споживачами, що мають в основному електроприймачі тільки другої і третьої категорій, на напрузі 10 кВ треба застосовувати петльову схему з одностансформаторними ТП.

Для електропостачання районів міста з великою кількістю споживачів, які мають електроприймачі першої категорії, на напрузі 10 кВ рекомендується двопротенева схема з двобічним живленням з двостансформаторними ТП.

Застосування трипротеневої (багатопротеневої) схеми рекомендується при реконструкції або будівництві нових міських електричних мереж, коли вона може виявитися більш економічною, ніж двопротенева з двобічним живленням.

Для електропостачання районів міста з окремими ділянками, що мають велику кількість споживачів з електроприймачами першої категорії, на напрузі 10 кВ слід використовувати комбіновану петльово-двопротеневу схему з виконанням двопротеневої схеми з двостансформаторними ТП на ділянках з великою кількістю споживачів, які мають електроприймачі першої категорії.

У випадку застосування на напрузі 10 кВ петльової схеми з одностансформаторними ТП для електропостачання споживачів, які мають електроприймачі другої і третьої категорії, мережу напругою 0,4 кВ виконують за петльовою схемою, якщо не потрібне роздільне живлення силового та освітлювального навантаження, і за двопротеневою схемою з одnobічним

живленням, якщо потрібне роздільне живлення силового та освітлювального навантаження будинків.

Приєднання ліній петльової або двопроменевої схеми мережі 0,4 кВ до різних ТП треба виконувати для живлення житлових і громадських будівель з електричними плитами, будинків висотою 9 поверхів і вище. В інших випадках приєднання ліній до різних ТП рекомендується за умови, якщо це не призводить до погіршення економічних показників мережі більше ніж на 5 %.

При петльовій схемі з одностансформаторними ТП для електропостачання окремих споживачів, які мають електроприймачі першої категорії на напрузі 0,4 кВ, рекомендується застосування однієї з наступних схем:

- а) петльової або двопроменевої схеми з двобічним живленням від різних одностансформаторних ТП, підключених до різних напівпетель однієї лінії 10 кВ або до різних магістралей 10 кВ, з АВР безпосередньо в електроприймачів першої категорії;
- б) петльової або двопроменевої схеми з однобічним живленням від різних секцій однієї з ТП, на якій встановлюються два трансформатори і здійснюється ділення кабельної лінії на напівпетлі з АВР у споживачів.

Вибір тієї чи іншої схеми виконують з урахуванням їх економічності, потужності електроприймачів першої категорії та можливості практичного виконання.

При двопроменевій схемі на напрузі 10 кВ з двотрансформаторними ТП мережу 0,4 кВ виконують за двопроменевою схемою з однобічним живленням від різних секцій однієї ТП.

6.3 Розрахунок розподільної електричної мережі 10 кВ

Вибір перерізів дротів і кабелів напругою вище 1 кВ виконують:

- за економічною щільністю струму в нормальному режимі;

– за припустимим тривалим струмовим навантаженням за нагріванням в нормальному і післяаварійному режимах;

– припустимій втраті напруги в нормальному і післяаварійному режимах;

– термічній стійкості при струмах короткого замикання, якщо кабельні лінії не захищені плавкими запобіжниками.

Економічний переріз жил кабелів розподільних ліній 10 кВ розраховують для кожної ділянки за вже знайомою формулою:

$$F_{к-м} = \frac{I_{р.к-м}}{J_{ек}}, \quad (6.7)$$

де $F_{к-м}$ – переріз ділянки розподільної мережі 10 кВ, мм²; $I_{р.к-м}$ – розрахунковий струм ділянки розподільної мережі 10 кВ, А; $J_{ек}$ – нормоване значення економічної щільності струму, А/мм², вибране за таблицею 10 додатку Б.

Переріз ділянок, отриманий в результаті розрахунку, необхідно округляти до найближчого стандартного. При цьому для сусідніх ділянок допускається приймати однакові перерізи жил, що відповідають економічному для найбільш довгої ділянки, якщо різниця між значеннями економічного перерізу для цих ділянок знаходиться в межах одного ступеня за шкалою стандартних перерізів.

Розрахунок жил кабелів розподільної мережі 10 кВ за припустимим тривалим струмовим навантаженням по нагріванню в нормальному режимі здійснюють за виразом

$$I_{р.к-м.норм.} / (K_k K_t K_c K_{nn}) \leq I_{прип.к-м}, \quad (6.8)$$

де $I_{р.к-м.норм.}$ – розрахунковий струм в нормальному режимі на ділянці, А;

$I_{прип.к-м}$ – припустиме тривале струмове навантаження жил кабеля ділянки, А;

K_k – поправний коефіцієнт на кількість працюючих кабелів, що лежать поряд в землі (табл. Б.13); K_t – поправний коефіцієнт на температуру землі (табл. Б.15);

K_c – поправний коефіцієнт на питомий тепловий опір землі (табл. Б.16); K_{nn} – поправний коефіцієнт попереднього навантаження кабелю в нормальному режимі (табл. Б.14);

В післяаварійному режимі:

$$I_{p.k-m.авар.} / (K_{\kappa} K_t K_c K_{\kappa n}) \leq I_{прип.к-м}, \quad (6.9)$$

де $K_{\kappa n}$ – поправний коефіцієнт короткочасного перевантаження в післяаварійному режимі (табл. Б.14).

Припустимі тривалі струмові навантаження жил кабелів 0,4–10 кВ $I_{прип.к-м}$ наведені в таблиці 12 додатку Б з розрахунку прокладення в землі на глибині 0,7–1,0 м не більше одного кабеля при температурі землі +15 °С і питомому тепловому опорі 120 см·К/Вт і прокладанні у повітрі при температурі +25 °С. При цьому припустимі температури нагрівання жил кабелів з бумажною просоченою ізоляцією 0,4 кВ складає +80 °С, а для напруги 10 кВ – +60 °С, кабелі с пластмасовою ізоляцією – +65 °С.

При температурі землі, що відрізняється від +15 °С, слід припустимі тривалі струми, вказані в таблиці, змінювати шляхом введення поправного коефіцієнта K_t , значення якого наведені в таблиці 15 додатку Б.

При питомому тепловому опорі землі, що відрізняється від 120 Ом/Вт, припустимі тривалі струми, вказані в таблиці, треба змінити шляхом введення поправного коефіцієнта K_c , значення якого наведені в таблиці 16 додатку Б.

Кабельні лінії, що несуть в нормальних режимах навантаження, менші за номінальні, можуть короткочасно перевантажуватися в нормальному і після аварійному режимах, для цього припустимі тривалі струми, вказані в таблиці, змінюють в нормальному режимі, на коефіцієнт попереднього навантаження кабеля K_{nn} , а в післяаварійному – на $K_{\kappa n}$ (табл. Б.14). Як правило, на час ліквідації аварії, припустиме перевантаження кабеля 0,4 – 10 кВ з паперовою просоченою ізоляцією вибирають рівним $K_{\kappa n}=1,3$ (з урахуванням попереднього навантаження в нормальному режимі у години максимуму $K_{nn} = 0,8$).

Середньомісячна температура ґрунту на глибині прокладання кабеля для всіх районів України в осінньо-зимовий сезон складає 10 °С, а для літнього

сезону 20–25 °С залежно від регіону. Для Харківської області ця температура становить 20 °С.

Розрахунок жил кабелів за припустимою втратою напруги здійснюють за виразом

$$\Delta U_{нб} \leq \Delta U_{прип} \quad (6.10)$$

де $\Delta U_{нб}$ – найбільша втрата напруги в нормальному режимі роботи, В;
 $\Delta U_{прип}$ – припустима втрата напруги, В.

Припустима втрата напруги в розподільній мережі 10 кВ до найбільш віддаленого ТП в нормальному режимі, при відсутності живлючої мережі 10 кВ, не повинна перевищувати 6 %, а при наявності живильної мережі 10 кВ – 4 %.

Для лінії з декількома ділянками розподільної мережі втрату напруги від шин джерела живлення до найбільш віддаленого навантаження розраховують за формулою:

$$\Delta U_{нб} = \frac{1}{U_{ном}} \left(\sum_{k=1}^n P_k r_k + \sum_{k=1}^n Q_k x_k \right), \quad (6.11)$$

де $U_{ном}$ – номінальна напруга лінії, кВ; P_k, Q_k – активна і реактивна потужність на k -й ділянці лінії, кВт, кВАр; r_k, x_k – активний і реактивний опір k -ї ділянки лінії довжиною l_k , Ом;

$$r_k = r_0 l_k; \quad x_k = x_0 l_k. \quad (6.12)$$

Активний r_0 та індуктивний x_0 опір кабелів наведені в таблиці 17 додатку Б.

Розрахунок розподільної мережі 10 кВ за термічною стійкістю при струмах короткого замикання та виконанні живильної мережі можна виконати за виразом

$$F_{мин} \geq \frac{I_{\infty}}{C} \sqrt{t_n}, \quad (6.13)$$

де I_{∞} – сталий струм короткого замикання, кА; F_{\min} – мінімально допустимий переріз жили кабеля, мм² за умовою термічної стійкості при струмах к.з.; $C=85\dots90$; $t_n=t_3+t_{\text{отк}}=0,2\dots0,6$ с; t_3 – час спрацювання захисту; $t_{\text{отк}}$ – час спрацювання вимикачів, що дорівнює 0,1...0,2 с.

Приклад. Розрахувати петльову схему мережі 10 кВ, якщо відоме навантаження з боку 10 кВ міських трансформаторних підстанцій відповідно до схеми (рисунок 6.12):

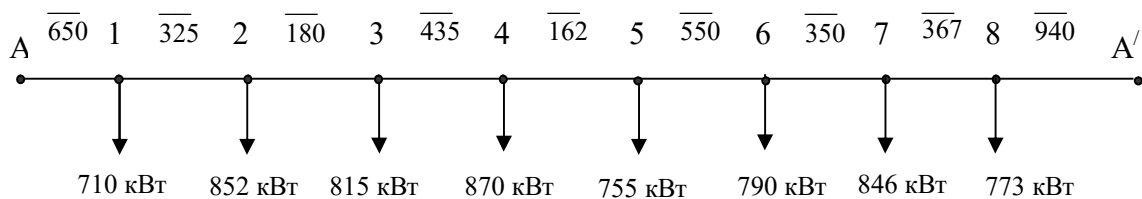


Рисунок 6.12 – Розрахункова схема до прикладу
(відстань між підстанціями дана в метрах)

Розв’язання. Якщо навантаження дане з боку 0,4 кВ трансформаторної підстанції, то слід враховувати втрати в трансформаторах. В цьому випадку треба скористатися приблизними втратами з використанням коефіцієнта втрат на трансформаторній підстанції:

$$I_{\text{ТП}} = \frac{S_{\text{ТП}} K_{\text{ТП}}}{\sqrt{3}U}, \quad (6.14)$$

де $K_{\text{ТП}} = 1,038$ – коефіцієнт втрат енергії на трансформаторній підстанції; $S_{\text{ТП}}$ – навантаження трансформаторної підстанції; $U = 10$ кВ напруга розподільної мережі.

Оскільки в умові прикладу навантаження дане з боку 10 кВ, то струм, що споживається першою трансформаторною підстанцією, визначається як

$$I_{\text{ТП}} = \frac{S_{\text{ТП}}}{\sqrt{3}U} = \frac{771,6}{\sqrt{3} \cdot 10} = 44,6 \text{ А} \quad (6.15)$$

Аналогічно знаходимо струм на всіх підстанціях, і тоді розрахункова схема й вихідні дані виглядатимуть, як зображено на рисунку 6.13.

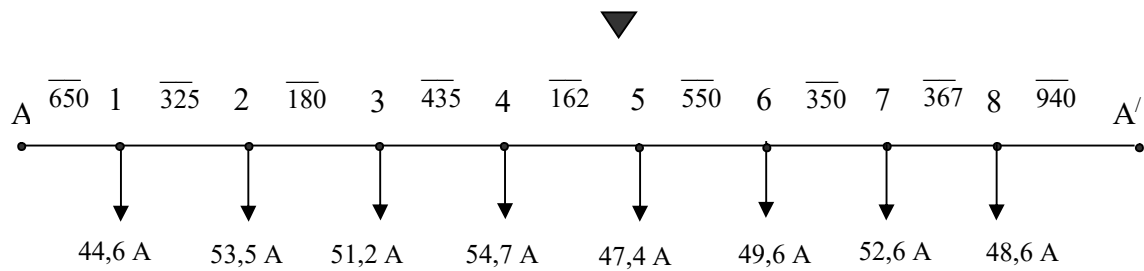


Рисунок 6.13 – Перетворена розрахункова схема

Струм на головній ділянці визначається так:

$$I_{ПА} = \frac{\sum I_m l_m}{l_{\Sigma}} \quad (6.16)$$

де l_m – довжина протилежних плечей, м; l_m – сумарна довжина всіх ділянок, м;

I_m – значення струму відповідної підстанції, А.

Так, для наведеного прикладу значення струму на головній ділянці А знаходимо як

$$I_A = \frac{44,6 \cdot 3\,309 + 53,5 \cdot 2\,984 + 51,2 \cdot 2\,804 + 54,7 \cdot 2\,369 + 47,4 \cdot 2\,207 + 49,6 \cdot 1\,657 + 52,6 \cdot 1\,307 + 48,6 \cdot 940}{3\,959} = 222,7 \text{ А.}$$

Струм на головній ділянці А':

$$I_{A'} = \frac{48,6 \cdot 3\,019 + 52,6 \cdot 2\,652 + 49,6 \cdot 2\,302 + 47,4 \cdot 1\,752 + 54,7 \cdot 1\,590 + 51,2 \cdot 1\,155 + 53,5 \cdot 975 + 44,6 \cdot 650}{3\,959} = 179,5 \text{ А}$$

Знаходимо струми на ділянках мережі:

$$I_{12} = I_A - I_1 = 222,7 - 44,6 = 178,1 \text{ А;}$$

$$I_{23} = I_{12} - I_2 = 178,1 - 53,5 = 124,6 \text{ А;}$$

$$I_{34} = I_{23} - I_3 = 124,6 - 51,2 = 73,4 \text{ А;}$$

$$I_{54} = I_{34} - I_4 = 73,4 - 54,7 = 18,7 \text{ А;}$$

$$I_{78} = I_A - I_8 = 179,5 - 48,6 = 130,9 \text{ А;}$$

$$I_{67} = I_{78} - I_7 = 130,9 - 52,6 = 78,3 \text{ А;}$$

$$I_{56} = I_{67} - I_6 = 78,3 - 49,6 = 28,7 \text{ A};$$

Точка потокорозділу знаходиться на підстанції 5. Найменше значення струму на ділянці 5–4, тому в нормальному режимі роз'єднувач встановлюється на цій ділянці, тоді уточнюємо розподіл струмів по ділянках, як це зображено на рисунку 6.14:

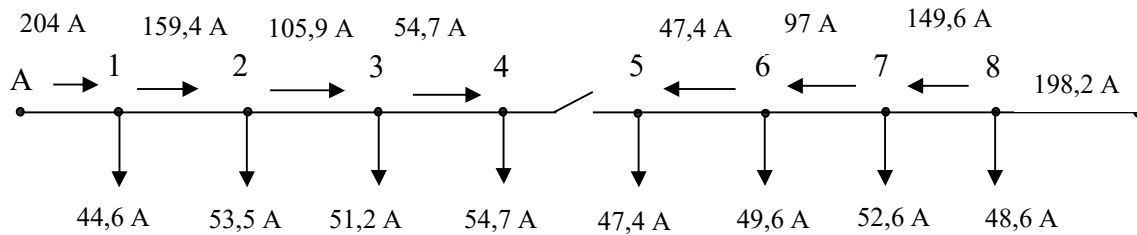


Рисунок 6.14 – Розподіл струму навантаження в нормальному режимі

Переріз кабеля на кожній ділянці вибираємо за економічною щільністю струму і перевіряємо за тривало-припустимим струмом на нагрівання в нормальному й аварійному режимах, а також за втратами напруги до самої віддаленої точки ділянок мережі в нормальному і аварійному режимах.

Визначаємо економічно вигідний переріз для ділянки мережі А–1 за виразом (6.7):

$$F_{A-1} = \frac{I_{p.A-1}}{J_{ек}} = \frac{204}{1,4} = 145,7 \text{ мм}^2;$$

$J_{ек} = 1,4$ – для кабелів з бумажною ізоляцією і $T_m = 4\ 000 \text{ год/рік}$.

Відповідно до ДСТ вибираємо переріз 150 мм^2 . Для цього перерізу кабеля припустимий струм за таблицею 12 додатка Б дорівнює $I_{дон.А-1} = 275 \text{ A}$.

Перевіряємо переріз за умовами нагрівання в нормальному режимі за виразом (6.8):

$$I_{p.к-м.норм.} / (K_{к} K_{t} K_{с} K_{nn}) \leq I_{прип.к-м} ;$$

$$204 / (1,0 \cdot 1,04 \cdot 1,0 \cdot 0,8) \leq 275 ; 245 \leq 275 .$$

У нормальному режимі умова задовольняється. Залишаємо вибраний переріз для перевірки його в післяаварійному режимі. У післяаварійному режимі живлення всіх підстанцій здійснюється за схемою на рисунку 6.15:

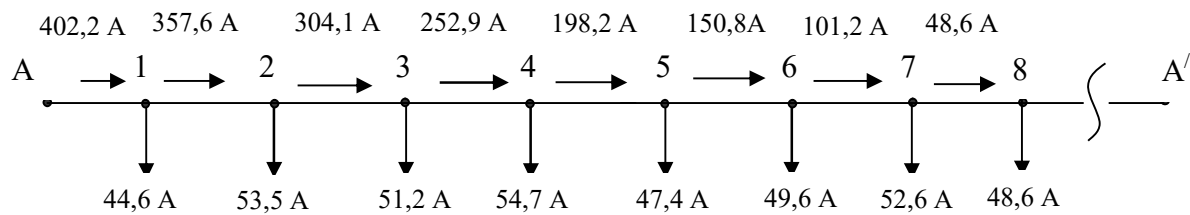


Рисунок 6.15 – Схема живлення підстанцій в післяаварійному режимі при живленні від точки А

Відповідно до цього $I_{p,A-1авар} = 402,2 \text{ A}$, тоді за виразом (6.9)

$$402,2 / (1,0 \cdot 1,04 \cdot 1,0 \cdot 1,3) \leq 275,$$

$297,5 \leq 275$ – це не збігається з умовою, тому підвищуємо переріз кабеля на одну ступінь $F = 185 \text{ мм}^2$, а припустимий струм для цього кабеля $I_{прп.А-1} = 310 \text{ A}$. Тоді за формулою (6.9) можна записати

$$402,2 / (1,0 \cdot 1,04 \cdot 1,0 \cdot 1,3) \leq 310,$$

$297,5 \leq 310$ – ця умова дотримується, що підтверджує – кабель проходить за нагріванням в післяаварійному режимі при живленні від точки А. Аналогічно вибираємо переріз кабеля на всіх ділянках мережі й заносимо в таблицю 6.1. Для перевірки кабеля в післяаварійному режимі при живленні від точки А' схема живлення міських ТП виглядатиме, як зображено на рисунку 6.16:

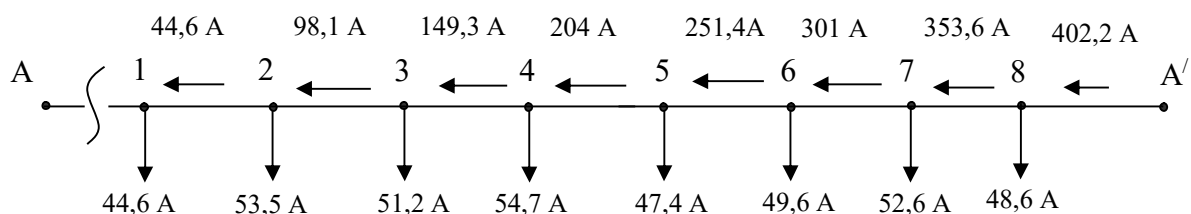


Рисунок 6.16 – Схема живлення підстанцій в післяаварійному режимі при живленні від точки А'

Проводимо аналогічні розрахунки, як і в першому аварійному режимі, результати їх зводимо в таблицю 6.1. Якщо на будь-якій ділянці мережі кабель за припустимим струмом на нагрівання в післяаварійному режимі не проходить, то збільшуємо переріз кабеля на одну або дві ступіні залежно від потреби й записуємо в таблицю.

При виборі перерізу кабеля на ділянці 4–5, де в нормальному режимі струм відсутній, слід скористатися струмами післяаварійного режиму. В першому аварійному режимі струм на цій ділянці дорівнює 204 А, а в другому – 198,2 А (табл. 6.1). Виходячи з найбільш важкого першого аварійного режиму для цієї ділянки, вибираємо струм – 204 А. За виразом (6.9) вибираємо припустимий струм кабеля, що задовольняє цій умові:

$$204 / (1,0 \cdot 1,04 \cdot 1,0 \cdot 1,3) \leq 150,8.$$

З табличних даних (табл. А.12) вибираємо припустимий струм 165 А, що відповідає перерізу кабеля 70 мм².

Перевіряємо вибраний переріз кабелів за втратами напруги в нормальному і після аварійному режимах. Виразивши через струми рівняння (6.11), можна представити втрати напруги у відсотках від номінальної напруги формулою:

$$\Delta U\% = \sqrt{3}(IR_{\Sigma} \cos \varphi + IX_{\Sigma} \sin \varphi)100 / U_{\text{н}} \quad (6.17)$$

Перевіряємо переріз вибраного кабеля за втратами напруги в нормальному режимі, попередньо визначивши активний і реактивний опір ділянок мережі та записавши їх значення в таблицю 6.1:

$$\Delta U\% = \sqrt{3}(204 \cdot 0,109 \cdot 0,92 + 204 \cdot 0,05 \cdot 0,39) \cdot 100 / 10000 = 0,42\%.$$

Аналогічно проводимо розрахунки для інших ділянок, результати зводимо в таблицю 6.1. Таким же чином здійснюємо розрахунки і для двох післяаварійних режимів, як це показано в таблиці.

Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок, що втрати напруги як в нормальному, так і в після аварійному режимах не перевищують

припустимих значень. Значить, вибрані перерізи кабелів задовольняють вимогам за втратами напруги.

Перевірка кабелів на термічну стійкість в цьому розділі не проводиться, тому що відсутні розрахунки струмів короткого замикання.

Далі необхідно розрахувати втрати потужності в нормальному режимі:

$$\Delta P = I_{p.нор}^2 R n_{каб} \quad (6.18)$$

Розрахуємо ΔP на ділянці А-1

$$\Delta P = 3 \cdot 204^2 \cdot 0,109 \cdot 2$$

Таблиця 6.1 – Розрахункові дані для розподільної мережі 10 кВ

Найменування	Ділянка мережі								
	А-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-А/
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Струм ділянки в нормальному режимі $I_{p.к-м.норм}$, А	204,0	159,4	105,9	54,7	—	47,4	97,0	149,6	198,2
Розрахунковий переріз кабеля $F_{эк}$, мм ²	145,7	113,9	75,6	39,0	—	33,9	69,3	106,9	141,6
Переріз за ДСТ, мм ²	150	120	95	50	—	35	70	120	150
Припустимий струм кабеля, $I_{прип}$, А	275	240	205	140	—	115	165	240	275
Припустимий струм кабеля з урахуванням поправних коефіцієнтів в нормальному режимі, $(K_k K_t K_c K_{пн}) I_{прип}$, А	228,8	199,7	170,6	116,5	—	95,7	137,3	199,7	228,8
Розрахунковий струм в післяаварійному режимі при живленні від точки А $I_{p.к-м.авар.}$, А	402,2	357,6	304,1	252,9	198,2	150,8	101,2	48,6	—
Розрахунковий струм в післяаварійному режимі при живленні від точки А/ $I_{p.к-м.авар.}$, А	—	44,6	98,1	149,3	204	251,4	301	353,6	402,2
Припустимий струм кабеля з урахуванням поправних коефіцієнтів в післяаварійному режимі, $(K_k K_t K_c K_{пн}) I_{прип}$, А	371,8	324,5	277,2	189,3	—	155,5	223,1	324,5	371,8

Продовження таблиці 6.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Уточнений переріз кабеля за ДСТ, мм ²	185	150	120	95	70	95	120	150	185
Припустимий струм кабеля, $I_{\text{прип}}$, А	310	275	240	205	165	205	240	275	310
Припустимий струм кабеля з урахуванням поправних коефіцієнтів в післяаварійному режимі, $(K_{\kappa} K_t K_c K_{\text{кл}}) I_{\text{прип}}$, А	419,0	371,8	324,5	277,2	223,1	277,2	324,5	371,8	419,0
Активний опір кабеля по ділянках, Ом	0,109	0,066	0,045	0,142	0,073	0,179	0,09	0,076	0,157
Реактивний опір кабеля по ділянках, Ом	0,05	0,026	0,015	0,036	0,014	0,046	0,028	0,029	0,072
Втрати напруги в нормальному режимі, ΔU^n , %	0,42	0,2	0,27	0,14	–	0,15	0,16	0,21	0,59
Сумарні втрати до віддаленої точки $\sum \Delta U^n$, %				1,03	–	1,11			
Втрата напруги в післяав. режимі при живленні від точки А ΔU^A , %	0,82	0,45	0,78	0,65	0,14	0,48	0,17	0,07	–
Сумарні втрати до віддаленої точки в аварійному режимі при живленні від точки А $\sum \Delta U^A$, %								3,56	
Втрата напруги в аварійному режимі при живленні від точки А' ΔU^A , %	–	0,05	0,25	0,38	0,14	0,79	0,49	0,5	1,2
Сумарні втрати до віддаленої точки в аварійному режимі при живленні від точки А' $\sum \Delta U^A$, %		3,8							
ΔP , кВт	27,2	10,1	3,0	2,5	–	2,4	5,1	10,2	37,0

6.4 Розрахунок розподільної електричної мережі 0,4 кВ

Перерізи жил кабелів розподільних мереж 0,4 кВ повинні бути вибрані, а потім перевірені за припустимим тривалим струмовим навантаженням по

нагріванню у нормальному й післяаварійному режимах, припустимою втратою напруги в нормальному й післяаварійному режимах.

Попередній вибір перерізів кабелів роблять, виходячи з середніх значень граничних втрат напруги в нормальному режимі в мережах 0,4 кВ (від ТП до введів у будівлю) не більше 4 % і здійснюють за формулою:

$$F = \frac{10^5}{\gamma \Delta U_{\text{прип}} U_n^2 n_k} \sum PL, \quad (6.18)$$

де γ – питома провідність алюмінію, $\gamma = 32$ м/Ом·мм²; $\Delta U_{\text{прип}}$ – припустима втрата напруги, 4 %; U_n – лінійна напруга мережі, В; $\sum PL$ – сума моментів навантаження, кВт·м; n_k – кількість кабелів.

За припустимим тривалим струмовим навантаженням по нагріванню в нормальному й післяаварійному режимах перевірку кабеля здійснюють за виразами (6.8) – (6.9).

За припустимою втратою напруги кабель можна перевірити за формулою:

$$\Delta U\% = \frac{10^5}{\gamma F U_n^2 n_k} \sum PL. \quad (6.19)$$

Приклад. Розрахувати розподільну мережу 0,4 кВ, якщо відоме навантаження житлових будинків і схема підключення відповідно до рисунку 6.17.

Розв’язання. Робимо попередній вибір перерізу кабеля за формулою (6.17) для ділянок розподільної мережі 0,4 кВ:

$$F_{\text{ТП1-1}} = \frac{10^5}{\gamma \Delta U_{\text{прип}} U_n^2 n_k} \sum PL = \frac{10^5}{32 \cdot 4 \cdot 380^2} \cdot 63 \cdot 55 = 18,7 \text{ мм}^2.$$

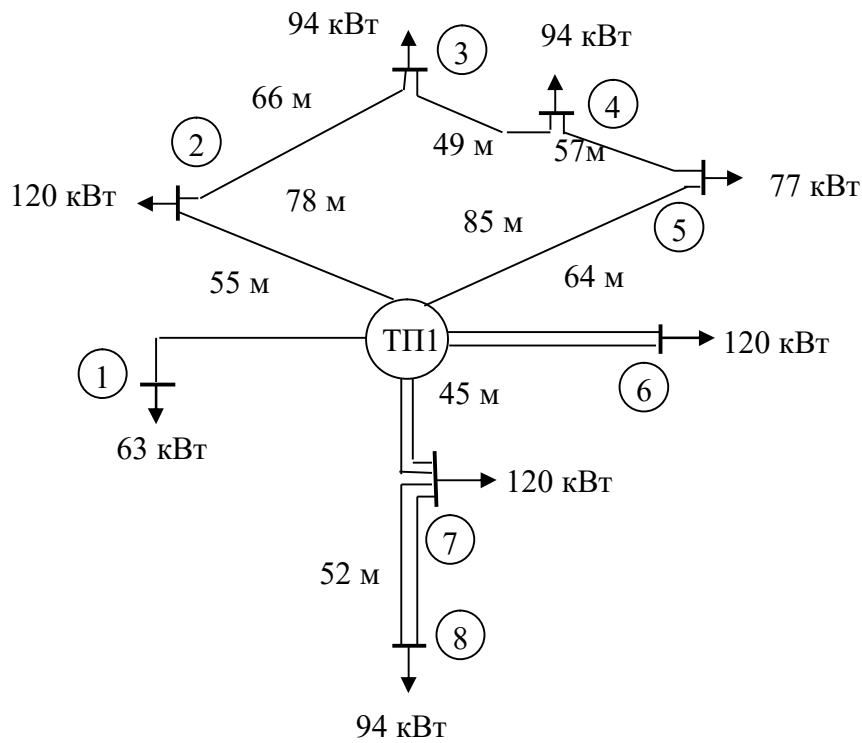


Рисунок 6.17 – Схема розподільної мережі 0,4 кВ

За ДСТ приймаємо переріз кабеля 25 мм².

$$F_{\text{ТП1-6}} = \frac{10^5}{32 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 380^2} \cdot 120 \cdot 64 = 20,8 \text{ мм}^2.$$

За ДСТ приймаємо переріз кабеля 2×25 мм².

$$F_{\text{ТП1-7}} = \frac{10^5}{32 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 380^2} \cdot [94 \cdot (52 + 45) + 120 \cdot 45] = 39,2 \text{ мм}^2.$$

За ДСТ приймаємо переріз кабелю 2×50 мм².

Для знаходження перерізу кабеля на ділянці 7–8 необхідно визначити втрати напруги ділянки ТП1–7:

$$\Delta U \% = \frac{10^5}{\gamma F U_{\text{н}}^2 n_k} \sum PL = \frac{10^5}{32 \cdot 2 \cdot 50 \cdot 380^2} \cdot 214 \cdot 45 = 2,08 \%.$$

Визначаємо переріз кабеля на ділянці 7–8:

$$F_{7-8} = \frac{10^5}{32 \cdot (4 - 2,08) \cdot 2 \cdot 380^2} \cdot 94 \cdot 52 = 27,5 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо переріз кабеля за ДСТ 2 × 35 мм².

Для електричної мережі, виконаної за петльовою схемою, слід, як і у попередньому розділі, визначити потік потужності по ділянках і точку поточкорозділу (рис. 6.18).

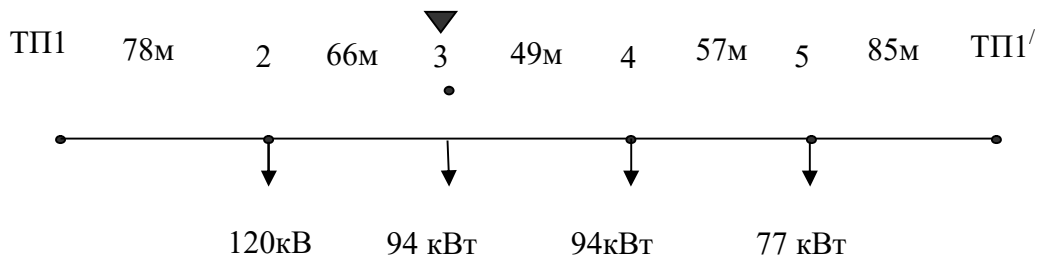


Рисунок 6.18 – Петльова схема розподільної мережі 0,4 кВ міської підстанції

Визначаємо потік потужності на головних ділянках і розподіляємо його по ділянках розподільної мережі:

$$P_{ТП1} = \frac{\sum P_m l_m}{l_{\Sigma}} = \frac{120 \cdot 257 + 94 \cdot 191 + 94 \cdot 142 + 77 \cdot 85}{335} = 205 \text{ кВт};$$

$$P_{ТП1} = \frac{\sum P_m l_m}{l_{\Sigma}} = \frac{77 \cdot 250 + 94 \cdot 193 + 94 \cdot 144 + 120 \cdot 78}{335} = 180 \text{ кВт};$$

$$P_{ТП1-2} = 205 \text{ кВт}; P_{2-3} = 205 - 120 = 85 \text{ кВт}; P_{ТП1-5} = 180 \text{ кВт};$$

$$P_{4-5} = 180 - 70 = 103 \text{ кВт}; P_{3-4} = 103 - 94 = 9 \text{ кВт}.$$

Ділянка 3–4 має мінімальний потік потужності, тому на цій ділянці і встановлюється розрив (рис. 6.19):

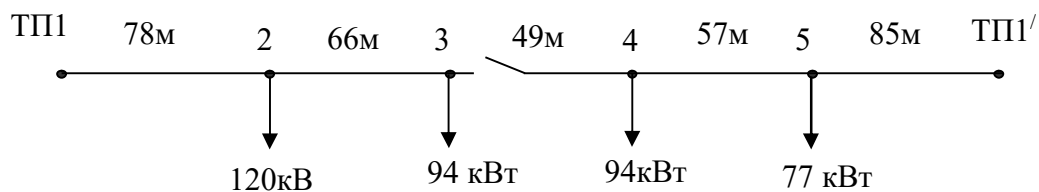


Рисунок 6.19 – Розподільна мережа 0,4 кВ у нормальному режимі

У нормальному режимі потоки потужності розподіляться по ділянках 1 такий спосіб:

$$P_{ТП1-2} = 120 + 94 = 214 \text{ кВт}; \quad P_{2-3} = 94 \text{ кВт};$$

$$P_{ТП1-5} = 77 + 94 = 171 \text{ кВт}; \quad P_{4-5} = 94 \text{ кВт}.$$

Попередньо визначаємо переріз кабелів:

$$F_{\text{ТП1-2}} = \frac{10^5}{32 \cdot 4 \cdot 380^2} \cdot [94 \cdot (66 + 78) + 120 \cdot 78] = 124 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо переріз кабеля за ДСТ 150 мм².

Визначаємо втрати напруги на ділянці ТП1–2:

$$\Delta U \% = \frac{10^5}{\gamma F U_n^2 n_k} \sum PL = \frac{10^5}{32 \cdot 150 \cdot 380^2} \cdot 214 \cdot 78 = 2,41 \%.$$

Переріз кабеля на ділянці 2–3:

$$F_{2-3} = \frac{10^5}{32 \cdot (4 - 2,41) \cdot 380^2} \cdot 94 \cdot 66 = 84,4 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо переріз кабелю за ДСТ 95 мм².

Переріз кабеля на ділянці ТП1–5:

$$F_{\text{ТП1-5}} = \frac{10^5}{32 \cdot 4 \cdot 380^2} \cdot [94 \cdot (57 + 85) + 77 \cdot 85] = 107,6 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо переріз кабелю за ДСТ 120 мм².

Визначаємо втрати напруги на ділянці ТП1–5:

$$\Delta U \% = \frac{10^5}{\gamma F U_n^2} \sum PL = \frac{10^5}{32 \cdot 120 \cdot 380^2} \cdot 214 \cdot 85 = 3,28 \%.$$

Перетин кабелю на ділянці 4–5:

$$F_{4-5} = \frac{10^5}{32 \cdot (4 - 3,28) \cdot 380^2} \cdot 94 \cdot 57 = 161,0 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо переріз кабелю за ДСТ 185 мм².

Отримані результати зводимо в таблицю 6.2.

При визначенні розрахункового струму в нормальному режимі по ділянках мережі скористаємося формулою:

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} U_n \cos \varphi}. \quad (6.20)$$

Для ділянки мережі ТП1–1:

$$I_p = \frac{63 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,92} = 104,2 \text{ А}.$$

Аналогічно визначаємо розрахунковий струм кабелю в нормальному режимі по інших ділянках і результати зводимо в таблицю. Визначаючи розрахунковий

струм кабеля в нормальному режимі для ділянки ТП1–6, що містить два кабелі за виразом (6.20) можна записати:

$$I_p = \frac{120 \cdot 10^3}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,92} = 99,2 \text{ A.}$$

Припустимий струм кабеля в нормальному режимі визначаємо за виразом

$$I_{\text{доп}}^{\text{н}} = (K_{\kappa} K_t K_c K_{\text{nn}}) I_{\text{прип}}. \quad (6.21)$$

Для ділянки ТП1–1:

$$I_{\text{прип}}^{\text{н}} = (1,0 \cdot 1,04 \cdot 1,0 \cdot 0,8) \cdot 106 = 88,2 \text{ A.}$$

Визначаємо аналогічно для інших ділянок і результати вносимо в таблицю.

Припустимий струм кабеля післяаварійного режиму знаходимо за виразом:

$$I_{\text{доп}}^{\text{ПА}} = (K_{\kappa} K_t K_c K_{\text{кп}}) I_{\text{прип}}. \quad (6.22)$$

Визначаємо припустимий струм кабеля післяаварійного режиму для ділянки ТП1–6:

$$I_{\text{прип}}^{\text{ПА}} = (1,0 \cdot 1,04 \cdot 1,0 \cdot 1,3) \cdot 106 = 143,3 \text{ A.}$$

Визначаємо струм аналогічно для інших ділянок і результати вносимо в таблицю.

При визначенні розрахункового струму кабелю післяаварійного режим по ділянці мережі ТП1–6 скористаємось формулою:

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} U_{\text{н}} \cos \varphi} = \frac{120 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,92} = 198,4 \text{ A.}$$

Якщо попередньо вибраний кабель (за припустимою втратою напруги) не проходить післяаварійного режиму, то переріз кабеля уточняється в бік збільшення на одну ступінь або більше залежно від розрахункового струму післяаварійного режиму. Далі, як і на початку розрахунку, проводимо порівняльний аналіз. Всі результати розрахунків також зводимо в таблицю. На ділянках ТП1–2, ТП1–5, 4–5 післяаварійного режиму струми значно перевищують припустимі струми кабелю максимального перерізу, тому на цих ділянках використовуємо в лінії два кабелі. Після кінцевого вибору кабеля перевіряємо розподільну мережу 0,4 кВ за втратою напруги.

Для ділянки ТП1–1 втрата напруги в нормальному режимі складає

$$\Delta U \% = \frac{10^5}{32 \cdot 25 \cdot 380^2} \cdot 63 \cdot 55 = 3,0 \%$$

Для ділянки ТП1–6:

– в нормальному режимі

$$\Delta U \% = \frac{10^5}{32 \cdot 2 \cdot 25 \cdot 380^2} \cdot 120 \cdot 64 = 3,3 \%;$$

– в післяаварійному режимі

$$\Delta U \% = \frac{10^5}{32 \cdot 25 \cdot 380^2} \cdot 120 \cdot 64 = 6,6 \%$$

Аналогічно визначаємо втрати напруги в нормальному і післяаварійному режимі для всіх ділянок і визначаємо сумарні втрати по мережі до самої віддаленої точки. Результати розрахунків зводимо в таблицю.

При розрахунку петльової схеми в післяаварійному режимі слід враховувати два випадки: живлення всіх електроприймачів по ділянках ТП1–1 і живлення по ділянці ТП1–5.

Таблиця 6.2 – Розрахункові дані по розподільній мережі 0,4 кВ

Найменування	Ділянка мережі								
	ТП1-1	ТП1-6	ТП1-7	7-8	ТП1-2	2-3	3-4	ТП1-5	4-5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Розрахунковий переріз кабеля, мм ²	18,7	20,8×2	39,2×2	27,5×2	124	84,4	–	107,6	161,0
Прийнятий перетин за ДСТ, мм ²	25	2×25	2×50	2×35	150	95	–	120	185
Розрахунковий струм кабеля в нормальному режимі, А	104,2	99,2	176,9	77,7	353,8	155,4	–	282,7	155,4
Припустимий струм кабеля $I_{\text{прип}}$, А	106	106	161	129	308	235	–	271	354
Припустимий струм кабеля з урахуванням поправних коефіцієнтів в нормальному режимі, $(K_k K_l K_c K_{\text{пл}}) I_{\text{прип}}$, А	88,2	79,4	120,6	96,6	256,2	195,2	–	225,5	294,5
Розрахунковий струм у післяаварійному режимі, (живлення по ділянці ТП1-2 для петльової схеми), А	–	198,4	353,8	155,4	636,0	438,2	282,7	–	127,0
Розрахунковий струм в післяаварійному режимі, (живлення по ділянці ТП1-5 для петльової схеми), А	–	198,4	353,8	155,4	–	198,4	353,8	636,0	509,3

Продовження таблиці 6.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Припустимий струм кабеля з урахуванням поправних коефіцієнтів у післяаварійному режимі, $(K_K K_t K_c K_{кл}) I_{прп}$, А	–	143,3	217,7	174,4	416,4	317,7	366,4	366,4	478,6
Уточнення перерізу кабеля за ДСТ, мм²	25	2×50	2×120	2×35	2×95	185	120	2×95	2×70
Припустимий струм кабеля, $I_{прп}$, А	106	161	271	129	235	354	271	235	193
Припустимий струм кабеля з урахуванням поправних коефіцієнтів у післяаварійному режимі, $(K_K K_t K_c K_{кл}) I_{прп}$, А	–	217,7	366,4	174,4	317,7	478,6	366,4	317,7	260,9
Втрата напруги у нормальному режимі, ΔU^n , %	3,0	3,3	0,87	1,5	1,9	0,73	–	1,66	0,83
Сумарні втрати до віддаленої точки в нормальному режимі $\sum \Delta U^n$, %	3,0	3,3		2,37		2,63	–		2,49
Втрата напруги у післяаварійному режимі (при живленні по ділянці ТП1-2 для петльової схеми) ΔU^A , %	–	6,6	1,74	3,0	3,4	2,0	1,5	–	0,68
Сумарні втрати до віддаленої точки у післяаварійному режимі (при живленні по ділянці ТП1-2 для петльової схеми) $\sum \Delta U^A$, %	–	6,6		$1,74 + 1,5 = 3,24$					7,58
Втрата напруги у післяаварійному режимі (при живленні по ділянці ТП1-5 для петльової схеми) ΔU^A , %	–	6,6	1,74	3,0	–	0,93	1,89	3,73	2,71
Сумарні втрати до віддаленої точки у післяаварійному режимі (при живленні по ділянці ТП1-5 для петльової схеми) $\sum \Delta U^A$, %	-	6,6		$0,87 + 3,0 = 3,87$		9,26			
ΔP , кВт									

7 РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ (СКЗ) У РОЗПОДІЛЬНІЙ МЕРЕЖІ 10 КВ

Сучасні розподільні мережі 10 кВ працюють з ізолюваною нейтраллю або з компенсацією ємнісних струмів. Тому в них можливі такі пошкодження: трифазні, двофазні й подвійні замикання на землю, а також однофазні замикання на землю. У цьому курсовому проєкті для вибору електрообладнання достатньо розрахувати трифазне коротке замикання. Розрахунки можна виконувати в іменованих

одиницях, оскільки це дозволяє безперервно контролювати достовірність ведення розрахунку і правильність отримання результатів.

Для розрахунку струмів короткого замикання необхідно визначити опір до точки КЗ:

$$Z_{екв.} = \sqrt{(r_1 + r_2 + \dots + r_n)^2 + (x_c + x_1 + x_2 + \dots + x_n)^2}, \quad (7.1)$$

де x_c – опір системи, Ом;

$r_1, r_2, \dots, r_n, x_1, x_2, \dots, x_n$ – опори елементів розподільної мережі, Ом.

Опір системи визначаємо як

$$x_c = \frac{U_n^2 \sqrt{3}}{S_{к.з.}}, \quad (7.2)$$

де $S_{к.з.}$ – потужність короткого замикання, МВА.

Сталий струм короткого замикання у будь-якій точці знаходимо так:

$$I_{\kappa} = \frac{U_n}{\sqrt{3} Z_{екв.}}, \quad (7.3)$$

де $Z_{екв.}$ – сумарний опір до точки короткого замикання.

При живленні від джерела нескінченної потужності його незмінна й періодична складова струму короткого замикання, тоді

$$I'' = I_{н.о.} = I_{\kappa}, \quad (7.4)$$

де $I'' = I_{н.о.}$ – початкове діюче значення періодичної складової струму короткого замикання. Ударний струм короткого замикання:

$$i_y = 1,8\sqrt{2}I_{н.о.} = 2,55I_{н.о.} \quad (7.5)$$

При визначенні періодичної складової СКЗ в момент розходження контактів вимикача $I_{н\tau}$ можна вважати ЕРС системи і періодичну складову ТКЗ незмінними в часі, тобто $I_{н\tau} = I_{н.о.}$.

Аперіодична складова ТКЗ до моменту розходження контактів

$$i_{a\tau} = \sqrt{2}I_{н.о.} e^{\frac{-\tau}{T_a}}, \quad (7.6)$$

де τ – розрахунковий час, для якого треба знайти $i_{a\tau}$.

Розрахунковий час $\tau = t_{з.мин.} + t_{с.вык.}$,

де $t_{з.мин.}$ – мінімальний час дії релейного захисту (приймається рівним 0,01 с);

$t_{с.вык.}$ – особистий час відключення вимикача (приймається за каталогами залежно від типу вимикача).

Повний інтеграл Джоуля СКЗ є результатом дії періодичної ($B_{k.n.}$) і аперіодичної ($B_{k.a.}$) складових СКЗ:

$$B_k = B_{k.n.} + B_{k.a.} \quad (7.7)$$

При віддаленому КЗ, коли періодична складова СКЗ в часі не змінюється,

$$B_k = I_{н.о.}^2 \left[t_{відкл.} + Ta \left(1 - e^{\frac{-2t_{відкл.}}{Ta}} \right) \right], \quad (7.8)$$

де $t_{відкл.} = t_{з.} + t_{вимик.}$ – час від початку КЗ до його відключення, с; $t_{з.}$ – час дії релейного захисту, с; $t_{вимик.}$ – повний час відключення вимикача з приводом, с.

Якщо $\frac{t_{відкл.}}{Ta} = 1 \div 2$, то можна застосувати вираз

$$B_k = I_{н.о.}^2 (t_{відкл.} + Ta). \quad (7.9)$$

Приклад. Розрахувати струм короткого замикання в точках К1–К5 для схеми рис. 7.1. Потужність короткого замикання $S_{к.з.} = 250$ МВА. Опір ділянок розподільної мережі 10 кВ: $x_1 = 0,01$; $r_1 = 0,25$; $x_2 = 0,04$; $r_2 = 0,18$; $x_3 = 0,03$; $r_3 = 0,16$. Розрахункові перерізи кабелів на ділянках: (1–2) – 120 мм²; (2–3) – 95 мм²; (3–4) – 70 мм².

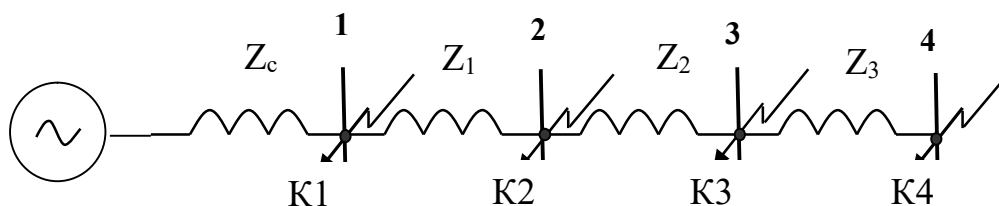


Рисунок 7.1 – Розрахункова схема розподільної мережі 10 кВ

Визначаємо опір системи:

$$x_c = \frac{U_H^2}{S_{к.з.}} = \frac{10^2}{250} = 0,4 \text{ Ом.}$$

Визначаємо еквівалентні опори

$$z_{екв.2} = \sqrt{r_1^2 + (x_c + x_1)^2} = \sqrt{0,25^2 + (0,4 + 0,01)^2} = 0,48 \text{ Ом.}$$

$$z_{екв.3} = \sqrt{(r_1 + r_2)^2 + (x_c + x_1 + x_2)^2} = \sqrt{(0,25 + 0,18)^2 + (0,4 + 0,01 + 0,04)^2} = 0,62 \text{ Ом.}$$

$$z_{екв.4} = \sqrt{(r_1 + r_2 + r_3)^2 + (x_c + x_1 + x_2 + x_3)^2} = \sqrt{(0,25 + 0,18 + 0,16)^2 + (0,4 + 0,01 + 0,04 + 0,03)^2} = 0,76 \text{ Ом.}$$

Струм короткого замикання в точці К1 визначається:

$$I_{к1} = \frac{U_H}{\sqrt{3}x_c} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 14,4 \text{ кА.}$$

Струм короткого замикання в точці К2:

$$I_{к2} = \frac{U_H}{\sqrt{3}z_{екв.2}} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 0,48} = 12,0 \text{ кА.}$$

Струм короткого замикання в точці К3:

$$I_{к3} = \frac{U_H}{\sqrt{3}z_{екв.3}} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 0,62} = 9,3 \text{ кА.}$$

Струм короткого замикання в точці К4:

$$I_{к4} = \frac{U_H}{\sqrt{3}z_{екв.4}} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 0,76} = 7,6 \text{ кА.}$$

Ударний струм короткого замикання в точках:

$$K1 - i_y = 1,8\sqrt{2}I_{п.о} = 2,55 \cdot 14,4 = 36,7 \text{ кА.}$$

$$K2 - i_y = 1,8\sqrt{2}I_{п.о} = 2,55 \cdot 12 = 30,6 \text{ кА.}$$

$$K3 - i_y = 1,8\sqrt{2}I_{п.о} = 2,55 \cdot 9,3 = 23,7 \text{ кА.}$$

$$K4 - i_y = 1,8\sqrt{2}I_{п.о} = 2,55 \cdot 7,6 = 19,4 \text{ кА.}$$

Аперіодичну складову СКЗ до моменту розходження контактів для точки короткого замикання К1 визначаємо за виразом (7.6). При цьому постійну часу T_a для установок більше 1 кВ можна прийняти приблизно 0,05 с. Розрахунковий час, для якого потрібно знайти аперіодичну складову для наведеного прикладу, знаходимо з розрахунку мінімального часу дії релейного захисту (0,01 с) і власного часу відключення вимикача (0,1 с):

$$K1 - i_{ат} = \sqrt{2} I_{п.о} e^{\frac{-t}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 14,4 \cdot e^{\frac{-0,11}{0,05}} = 2,26 \text{ кА.}$$

Аналогічно аперіодичну складову визначаємо для інших точок короткого замикання: $K2 - i_{ат} = 1,88 \text{ кА}$; $K3 - i_{ат} = 1,46 \text{ кА}$; $K4 - i_{ат} = 1,11 \text{ кА}$.

Повний інтеграл Джоуля СКЗ для точки К1 можна встановити за виразом

$$B_k = I_{п.о.}^2 (t_{відкл.} + T_a) = (14,4 \cdot 10^3)^2 \cdot 0,16 = 33,2 \cdot 10^6 \text{ А} \cdot \text{с.}$$

Аналогічно знаходимо інтеграл Джоуля СКЗ для інших точок короткого замикання:

$$K2 - B_k = 23 \cdot 10^6 \text{ А} \cdot \text{с}; \quad K3 - B_k = 13,8 \cdot 10^6 \text{ А} \cdot \text{с}; \quad K4 - B_k = 9,2 \cdot 10^6 \text{ А} \cdot \text{с};$$

Визначаємо мінімальний переріз кабелів за термічною стійкістю для ділянок:

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{B_{к.з.}}}{c}, \quad (7.10)$$

де c – коефіцієнт, який для кабелів 10 кВ з паперово-просиченою ізоляцією дорівнює 100.

$$\text{Ділянка 1-2} - F_{\min} = \frac{\sqrt{B_{к.з.}}}{c} = \frac{\sqrt{23 \cdot 10^6}}{100} = 48 \text{ мм}^2;$$

$$\text{ділянка 2-3} - F_{\min} = \frac{\sqrt{B_{к.з.}}}{c} = \frac{\sqrt{13,8 \cdot 10^6}}{100} = 37,1 \text{ мм}^2;$$

$$\text{ділянка 3-4} - F_{\min} = \frac{\sqrt{B_{к.з.}}}{c} = \frac{\sqrt{9,2 \cdot 10^6}}{100} = 30,3 \text{ мм}^2.$$

На цих ділянках переріз повинен бути більший, ніж мінімальний, тоді за термічною стійкістю вони проходять. Якщо вибрані раніше кабелі не задовольняють цій умові, то на цих ділянках збільшуємо переріз кабелю, що був вибраний у попередніх розділах. Розрахунки зводимо в таблицю 7.1.

Таблиця 7.1 – Розрахунок струмів короткого замикання

Найменування величини струму	K1	K2	K3	K4
Сумарний опір до точки КЗ $Z_{ек}$, Ом	0,40	0,48	0,62	0,76
Стале значення струму КЗ, $I'' = I_{н.о.} = I_k$, кА	14,4	12,0	9,3	7,6
Ударний струм КЗ, i_y , кА	36,7	30,6	23,7	19,4
Аперіодична складова струму КЗ, $i_{ат}$, кА	2,26	1,88	1,46	1,11
Тепловий імпульс при струмі КЗ, B_k , кА ² ·с	$33,2 \cdot 10^6$	$23,0 \cdot 10^6$	$13,8 \cdot 10^6$	$9,2 \cdot 10^6$
Мінімальний переріз, F_{min} , мм ²	–	48,0	37,1	30,3
Прийнятий переріз, F , мм ²	–	120	95	70

8 ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ І РОЗПОДІЛЬЧИХ ПУНКТІВ

На ПС установлені камери КМ-ХХУІК.М-1. Раніше був обґрунтований вибір для установки в житловому районі типових ТП єдиної серії К-42-630М4. У ТП установлені камери КСО–393 з вимикачами навантаження ВІР. З нижчої сторони ТП установлені панелі типу ЩО-90 із запобіжниками ПН-2.

Перевірку устаткування робимо по наступним умовам:

- по номінальній напрузі (номінальна напруга мережі менше або дорівнює номінальній напрузі вимикача);
- по номінальному тривалому струмі (тривалий номінальний струм вимикача більше або дорівнює розрахунковому струму найбільш несприятливого експлуатаційного режиму);
- по електродинамічній стійкості (початкове значення періодичної складової струму короткого замикання менше або дорівнює граничному наскрізному струму, що допускається вимикачем, ударний струм короткого замикання менше або дорівнює номінальному струму електродинамічної стійкості вимикача).

Схеми первинних з'єднань ТП визначаються їхнім призначенням і характером приєднаних споживачів. Приєднання ТП до живильної мережі може здійснюватися або через роз'єднувач і запобіжник, або через вимикач навантаження і запобіжник. Лінії, що відходять напругою до 1 000 В захищають за допомогою

запобіжників або автоматичних вимикачів. При виборі устаткування ТП 10/0,4 кВ необхідно вибрати:

– з боку 10 кВ – плавкі запобіжники; вимикачі навантаження, вимикачі навантаження на ввідних лініях, секційний роз'єднувач;

– з боку 0,4 кВ – автоматичні вимикачі або плавкі запобіжники, секційний рубильник, рубильник на ввіді від трансформатора, трансформатори струму.

Електричні апарати і струмоведучі пристрої повинні надійно забезпечувати можливість тривалої роботи в нормальному режимі, при короткочасних перенапругах і перенавантаженнях; припустиме нагрівання струмами в важкому режимі; стійкість у режимі КЗ.

У нормальному режимі надійність роботи досягається правильністю вибору по номінальній напрузі і номінальному струмі; в режимі КЗ – відповідністю обраних параметрів умовам термічної і електродинамічної стійкості.

Введемо позначення: $U_{c,ном}$ – номінальна лінійна напруга трифазної мережі, для якої призначений апарат, $U_{y,ном}$, $I_{c, ном}$ – номінальна напруга і струм, які він може витримати тривалий час, $I_{p,норм}$ – діюче значення струму в нормальному режимі, яке пристрій може витримати тривалий час; $I_{доп}$ – довгостроково припустимий струм; $I_{p, утж}$ – діюче значення струму в ланцюзі в важкому режимі (максимально можливий тривалий струм навантаження при найбільш несприятливих експлуатаційних режимах); $I_{ном,т}$ – номінальний струм термічної стійкості (діюче значення незатухаючого періодичного струму КЗ, яке апарат може витримати протягом номінального часу термічної стійкості $t_{ном,Т}$; $B_k = (I_{кз}^{(3)})^2 \cdot t_{ном,Т}$ – тепловий імпульс КЗ, який характеризує кількість тепла, що виділяється в апараті за час дії струму КЗ; $I_{н,дин}$ – діюче значення періодичної складової повного струму КЗ; $I_{ном,дин}$ – номінальне миттєве амплітудне значення повного струму КЗ, припустиме для пристрою; $I_{н.о}$ – початкове діюче значення періодичної складової струму КЗ; $i_{y,обкл.}$ – струм відключення.

Розглянемо вибір устаткування ТП.

Вибір електричних пристроїв в електричній схемі ТП проводиться відповідно до розрахункових умов тривалого і короткочасного режимів. Для цього визначимо розрахункові струми $I_{p, норм}$, $I_{p, утж}$. Так як на ТП установлені два силових трансформатори, потужністю по $S_{тр.ном} = 630$ кВА кожний, то, з урахуванням припустимого навантаження, тривалі струми на стороні 10 кВ визначаються за формулами:

– у нормальному режимі (струм через секційний роз'єднувач відсутній)

$$I_{p, норм}^{10} = \frac{0,8S_{тр.ном}}{\sqrt{3}U_{с,ном}^{10}}, \text{ А} \quad (8.1)$$

– у ремонтному чи післяаварійному режимах, які допускають відключення одного із трансформаторів

$$I_{p, норм}^{10} = \frac{1,6S_{тр.ном}}{\sqrt{3}U_{с,ном}^{10}}, \text{ А} \quad (8.2)$$

– струм через секційний роз'єднувач

$$I_{p, утж}^{ср} = \frac{I_{p, утж}^{10}}{2}, \text{ А} \quad (8.3)$$

Розрахунок струмів коротких замикань у мережі 10 кВ був виконаний у попередніх розділах.

Умови вибору електричних апаратів, їх каталожні данні і розрахункові значення приведені в таблицях 8.1 – 8.3.

Таблиця 8.1 – Вибір плавких запобіжників 10 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_{с,ном}^{10} \leq U_{у,ном}$		
$I_{доп} = I_{p, утж}^{10} \leq I_{у,ном}$		
$I_{п,о} = I_{кз}^{(3)10} \leq I_{у,откл}$		

Таблиця 8.2 – Вибір вимикачів навантаження 10 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_{с,ном}^{10} \leq U_{у,ном}$		
$I_{доп} = I_{р,утж}^{10} \leq I_{у,ном}$		
$i_{уд}^{10} \leq i_{ном,дин}$		
$B_k^{10} \leq I_{ном,T}^2 t_{ном,T}$		

Таблиця 8.3 – Вибір секційного роз'єднувача 10 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_{с,ном}^{10} \leq U_{у,ном}$		
$I_{доп} = I_{р,утж}^{10} \leq I_{у,ном}$		
$i_{уд}^{10} \leq i_{ном,дин}$		
$B_k^{10} \leq I_{ном,T}^2 t_{ном,T}$		

Визначаємо тривалі струми на стороні 0,4 кВ:

– у нормальному режимі (струм через секційний рубильник не протікає)

$$I_{р,ном}^{0,4} = \frac{0,8S_{тр.ном}}{\sqrt{3}U_{с,ном}^{0,4}}, \text{ А} \quad (8.4)$$

– у ремонтному чи післяаварійному режимах, які допускають відключення одного із трансформаторів

$$I_{р,утж}^{0,4} = \frac{1,6S_{тр.ном}}{\sqrt{3}U_{с,ном}^{0,4}}, \text{ А} \quad (8.5)$$

– струм через секційний рубильник .

$$I_{р,утж}^{ср} = \frac{I_{р,утж}^{0,4}}{2}, \text{ А} \quad (8.6)$$

Вибір плавких запобіжників 0,4 кВ проводимо аналогічно вибору запобіжників 10 кВ. Для вибору устаткування ТП на стороні низької напруги потрібно зробити розрахунок струму трифазного короткого замикання на шинах 0,4 кВ.

Визначаємо опір трансформатора:

$$Z_{mp} = \frac{10U_k U_{HB}^2 S_{\delta}}{S_{mp} U^2}, \text{ Ом} \quad (8.7)$$

Сумарний опір до місця КЗ визначимо з урахуванням значення еквівалентного опору мережі до цього місця з таблиці 7.1.

$$Z_{\text{сум}} = Z_{\text{екв, К1}} + Z_{mp}, \text{ Ом.} \quad (8.8)$$

Струм трифазного короткого замикання на шинах 0,4 кВ ТП:

$$I_{\text{КЗ}}^{(3)0,4} = \frac{U_{\delta} U_{\text{в, ном}}}{\sqrt{3} Z_{\text{сум}} U_{\text{н, ном}}}, \text{ кА} \quad (8.9)$$

Ударний струм короткого замикання:

$$i_{\text{уд}}^{0,4} = 2,55 I_{\text{КЗ}}^{(3)0,4}, \text{ кА} \quad (8.10)$$

Так як вторинна обмотка трансформаторів струму розрахована на підключення стандартних приладів, то перевірку трансформаторів по навантажувальній здібності не робимо.

8.1 Вибір засобів релейного захисту, автоматики і телемеханіки для розподільної мережі 10 кВ

При виборі типу захистів, обсягу автоматизації і телемеханізації в мережі 10 кВ будемо керуватися рекомендаціями, викладеними в розділі 6 [1]. Відповідно до цих рекомендацій як основний вид захистів КЛ 10 кВ від багатofазних коротких замикань приймаємо максимальний токовий захист із витримкою часу. Час дії захисту приймаємо мінімальним, виходячи з умови селективності. При цьому будемо пам'ятати, що граничний час відключення КЗ нами прийняте $\tau_{np} = \tau_z + \tau_{\text{відкл}} = 0,52 \text{ с}$ у випадку, якщо за умовами селективності в ці межі вкластися не можливо, тоді:

- будемо використовувати токові відсічення з часом дії 0,2(0,3);
- для виправлення неселективної роботи відсічень на вимикачах лінії розглянемо варіант застосування на цих лініях АПВ одноразової дії.

Таблиця 8.4 – Вибір секційного рубильника

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_{с,ном}^{0,4} \leq U_{у,ном}$		
$I_{доп} = I_{р,утж}^{срб} \leq I_{у,ном}$		
$i_{уд}^{0,4} \leq i_{ном,дин}$		
$B_k^{0,4} \leq I_{ном,Т}^2 t_{ном,Т}$		

Таблиця 8.5 – Вибір автоматичного вимикача 0,4 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_{с,ном}^{0,4} \leq U_{у,ном}$		
$I_{доп} = I_{р,утж}^{0,4} \leq I_{у,ном}$		
$i_{уд}^{0,4} \leq i_{ном,дин}$		

Таблиця 8.6 – Вибір рубильника 0,4 кВ на ввіді від трансформатору

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_{с,ном}^{0,4} \leq U_{у,ном}$		
$I_{доп} = I_{р,утж}^{0,4} \leq I_{у,ном}$		
$i_{уд}^{0,4} \leq i_{ном,дин}$		
$B_k^{0,4} \leq I_{ном,Т}^2 t_{ном,Т}$		

Таблиця 8.7 – Вибір трансформаторів струму 0,4 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_{с,ном}^{0,4} \leq U_{у,ном}$		
$I_{доп} = I_{р,утж}^{0,4} \leq I_{у,ном}$		
$i_{уд}^{0,4} \leq i_{ном,дин}$		
$B_k^{0,4} \leq I_{ном,Т}^2 t_{ном,Т}$		

При цьому необхідно пам'ятати, що відсічення необхідно відбудувати від струмів КЗ на шинах 0,4 кВ у ТП.

На секційних вимикачах ЦП 10 кВ передбачаємо максимальний токовий захист із прискоренням дії після роботи АВР.

Для захисту трансформаторів у ТП із боку 10 кВ будемо використовувати запобіжники типу ПКТ із перевіркою забезпечення селективності їхньої роботи з максимальним токовим захистом на вимикачах ДЖ і вимикачах АВМ із боку 0,4 кВ.

Для захисту кабельних ліній, що відходять 0,4 кВ у розподільних панелях ІДО-90 установлюємо закриті плавкі запобіжники типу ПН2. Вибір плавких запобіжників було представлено раніше (дані вибору зведені в таблицю 8.1).

При розрахунку токового захисту варто пам'ятати, що для двопробієвих схем мережі з АВР, як це прийнято в даному проекті, на напрузі 10 кВ тривала рівнобіжна робота трансформаторів не допускається.

Захист мереж 10 кВ від замкнення на землю з дією на сигнал передбачаємо на шинах ДЖ ПС.

Конкретні питання телемеханізації мережі в даному проекті не проробляються. Загальний обсяг телемеханізації в ДЖ передбачаємо такий:

- а) телемеханізація положення масляних вимикачів у ДЖ;
- б) телевимірювання навантажень і напруги;
- в) аварійно-попереджувальну сигналізація з такими сигналами:
 - «аварія»,
 - «ремонт»,
 - «земля на шинах».

З огляду на близькість живильних ПС до диспетчерської як канали зв'язку для ланцюгів телемеханіки передбачаємо використання спеціальних ліній зв'язку.

8.2 Перевірка необхідності установки ДГР

Відповідно до п.1.2.16 ПУЕ в мережі з ізольованої нейтраллю, у тому числі 10 кВ при визначених значеннях ємнісного струму замкнення на землю необхідно передбачити компенсацію ємнісних струмів. Для кабельних мереж

10 кВ компенсація ємнісних струмів замкнення на землю передбачається при струмах у нормальному режимі більш 20 А.

Компенсація ємнісних струмів однофазного замкнення на землю в розподільчій мережі 10 кВ здійснюється шляхом установки дугогасних реакторів, що заземлюють, у РП 10 кВ ПС 110/10 кВ.

У системах електропостачання міст на енергопостачальних двотрансформаторних ПС – 110/10 трансформатори працюють роздільно. Тобто ПС має дві секції 10 кВ. Необхідно розрахувати величину ємнісних струмів кожної секції РП 10 кВ ПС при різних схемах роботи мережі.

Величину ємнісного струму замкнення на землю кожної секції будемо знаходити шляхом множення питомого значення ємнісних струмів однофазного замкнення на землю на сумарну довжину кабелів даного перерізу. Довжини і перерізи ділянок КЛ приймемо по таблиці 8.9, питомі значення ємнісних струмів на погонний кілометр струмів приведені в таблиці 8.8. Також будемо враховувати кількість рівнобіжних кабелів на одну секцію. При цьому, оскільки кабелі по секціях ПС розподілені рівномірно, отже і струми замкнення на землю на кожній секції вважаємо приблизно однаковими. Дані розрахунку зводимо в таблицю 8.8.

Таблиця 8.8 – Питомі ємнісні струми однофазного замкнення на землю

Переріз кабелю, мм ²	35	50	70	95	120	150	185
Питомий струм, А/км	0,69	0,77	0,9	1,0	1,1	1,3	1,4

Таблиця 8.9 – Розрахунок струмів замкнення на землю в мережі 10 кВ при нормальному і аварійному режимах роботи мережі (на одну секцію ПС)

Ділянка	Довжина КЛ, км	Переріз, №	Кільк. кабелів на 1 секцію	Ємнісний струм ділянки, А
1	2	3	4	5
W0-4	0,16	3×95	1	0,16
4-3	0,30	3×70	1	0,27
3-2	0,33	3×50	1	0,25
2-1	0,16	3×35	1	0,11
W0-5	0,45	3×95	1	0,45
5-13	0,21	3×70	1	0,19
13-18	0,34	3×50	1	0,26
8-7	0,16	3×35	1	0,11
W0-6	0,31	3×120	1	0,34

Продовження таблиці 8.9

1	2	3	4	5
6-12	0,33	3×95	1	0,33
12-11	0,25	3×95	1	0,25
11-14	0,21	3×70	1	0,19
14-10	0,23	3×50	1	0,18
10-9	0,26	3×35	1	0,18

Таким чином, значення струмів нижче зазначених у ПУЕ і встановлювати ДГР не треба.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Харченко В. Ф. Електропостачання міст і промислових підприємств : конспект лекцій для студентів 4–5 курсів денної і заочної форм навчання напряму підготовки 0906 «Електротехніка» (6.050701 – Електротехніка та технології) / В. Ф. Харченко ; Харків нац. акад. міськ. госп-ва. – Харків : ХНАМГ, 2011. – 168 с.
2. Справочник по проектированию электроснабжения / [Л. Е. Федорова и др.]; под ред. Ю. Г. Барыбина. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
3. Козлов В. А. Электроснабжение городов / В. А. Козлов. – Л. : Энергоатомиздат, 1988. – 264 с.
4. Кужеков С. Л. Городские электрические сети : учеб. пособие / С. Л. Кужеков, С. В. Гончаров. – Ростов н/Д : изд-во центр «МарТ», 2001. – 256 с.
5. Журахівський А. В. Пособие к курсовому и дипломному проектированию для электроэнергетических специальностей вузов / А. В. Журахівський, Б. М. Кінаш, О. О. Пастух; под ред. В. М. Блок. – М. : Высш. шк., 2012. – 280 с.
6. Карапетян И. Г. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д. Л. Файбисовича – 4-е изд. – М. : НЦ ЭНАС, 2012. – 376 с.
7. Бурбело М. Й. Системи електропостачання. Елементи теорії та приклади розрахунків : навч. посібник / М. Й. Бурбело, О. О. Бірюков, Л. М. Мельничук. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 204 с.
8. ДБН В.2.5-23:2010. Державні будівельні норми України. Проектування електрообладнання житлових і громадських будівель і споруд. – На заміну ДБН В.2.5-23-2003 ; чинний від 1 жовтня 2010 року. – Державний комітет України з будівництва та архітектури. – Київ, 2010. – 104 с.
9. ДБН Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будинках і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. – Уведено вперше ; чинний від 01 квітня 2017 року. – Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства, 2016. – 158 с.

10. Нормативний документ Міненерговугілля України. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі напругою до 1 кВ електростанцій та підстанцій з урахуванням впливу електричної дуги. Методичні вказівки. СОУ – Н ЕЕ 40. 11-21677681-48:2011. – Київ : Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2011. – 80 с.
11. Соколов В. Ф. Сети наружного освещения. Построение и автоматизация / В. Ф. Соколов, А. Г. Овчинников, В. Ф. Харченко. – М. : Энергоатомиздат, 1997. – 160 с.
12. Система управления и контроля наружного освещения «СПРУТ» . – Електронні текстові дані. – Режим доступу : http://ow.od.ua/wp-content/uploads/2016/07/ПРОСПЕКТ8_пуч_одис2.pdf, вільний. – (дата звернення: 19.07.2017). – Назва з екрана.
13. ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – На замену [ГОСТ 13109-87](#) ; дата введения 1999-01-01. – Минск, 1999. – 24 с.
14. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – Украина, Харьков : Форт, 2014. – 800 с.

ДОДАТОК А

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. Бекетова

Кафедра «Системи електропостачання та електроспоживання міст»

З А В Д А Н Н Я - 01

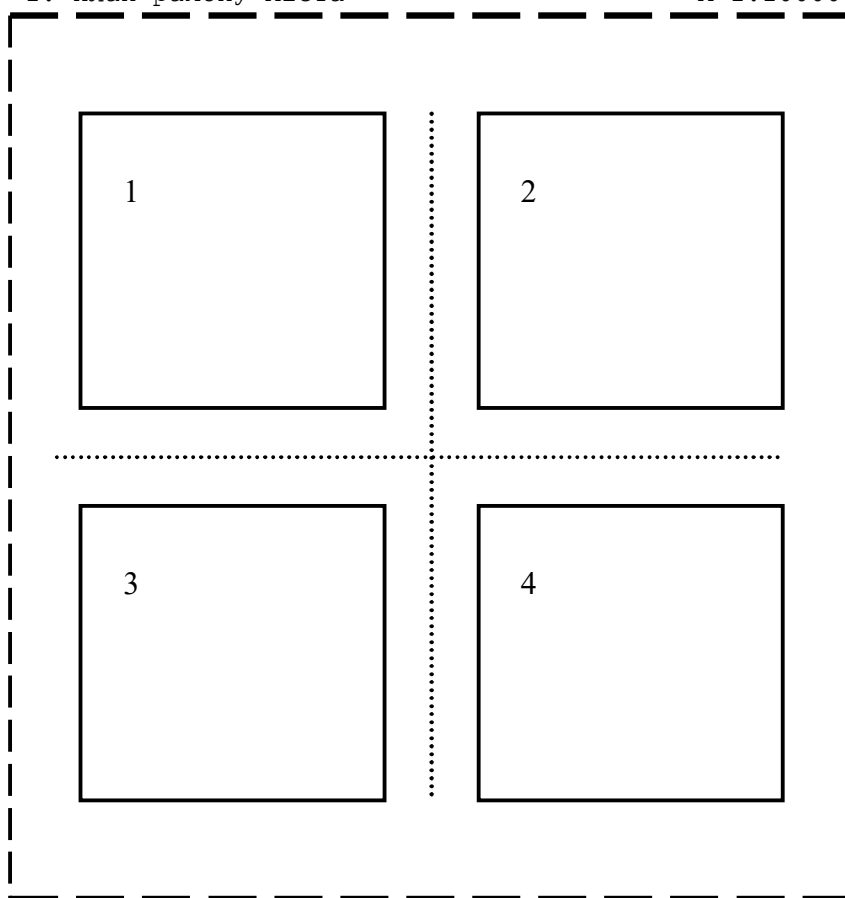
на курсовий проєкт: «Електропостачання району міста» з курсу: «Електропостачання міст і промислових підприємств» студенту _____ курсу _____ факультету

(П.І.П.)

Вихідні дані:

1. План району міста

М 1:10000



1, 2, 3, 4 – мікрорайони міста; периферійні вулиці;
..... внутрішньоквартальні вулиці.

2. Номінальна напруга розподільної мережі 10 кВ.

3. Кількість і місце розташування джерел живлення щодо району міста _____

5. Енергоносій для готування їжі _____

6. Число годин використання максимуму навантажень _____

7. Термін виконання _____

8. Дата видачі _____

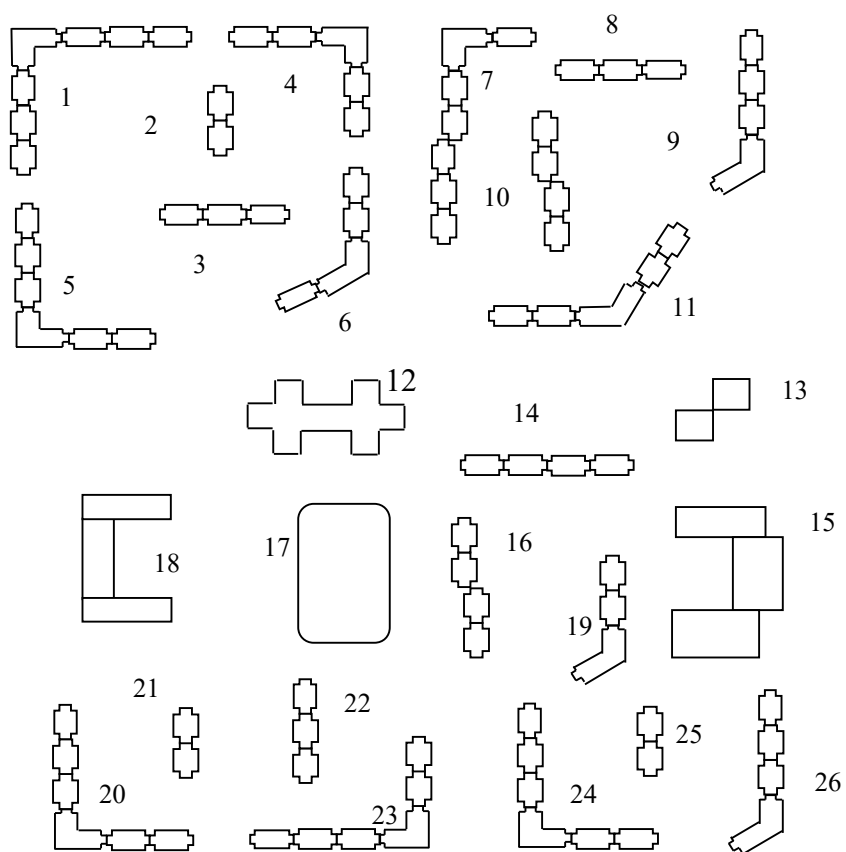
9. Одержав _____ підпис

10. Видав _____

11. План мікрорайону (див. на звороті)

План мікрорайону

М 1:5000



Специфікація:

Номер на плані	Найменування	Кількість під'їздів	Кількість поверхів	Кількість квартир
1	Житловий будинок	7	9	252
5,20,23,24	Житловий будинок	6	9	216
6,26	Житловий будинок	4	9	144
2,21,25	Житловий будинок	2	9	72
3,8,22	Житловий будинок	3	9	108
7	Житловий будинок	7	12	336
9,10,16,14	Житловий будинок	4	12	192
19	Житловий будинок	3	12	144
11	Житловий будинок	5	12	240
4	Житловий будинок	5	9	180
13	Житловий будинок	2	16	128
12	Дитячий садок	—	—	400 місць
18	Школа	—	—	2 000 місць
17	Стадіон	—	—	—
15	Торговий центр	—	—	2 000 м²

ДОДАТОК Б

Табличні дані

Таблиця Б.1 – Питомі розрахункові електричні навантаження житла 1-го і 2-го видів

Споживачі електроенергії	Значення показника, кВт/житла при кількості житла														
	1	3	6	9	12	15	18	24	40	60	100	200	400	600	1000
1. Житло 1-го виду															
1.1 I рівня електрифікації в будинках з плитами на природному газі	5,00	3,85	3,23	2,72	2,36	2,10	1,91	1,65	1,31	1,14	1,00	0,87	0,74	0,66	0,60
1.2 II рівня електрифікації в будинках з плитами на зрідженому газі і на твердому паливі	6,50	5,01	4,20	3,53	3,07	2,73	2,48	2,15	1,70	1,48	1,30	1,12	0,96	0,86	0,78
1.3 III рівня електрифікації в будинках з електроплитами потужністю до 8,5 кВт	10,00	8,19	5,56	4,44	3,76	3,33	3,05	2,72	2,35	2,10	1,73	1,38	1,31	1,19	1,10
1.4 IV рівня електрифікації в будинках з електроплитами потужністю 10,5 кВт	12,00	9,83	6,67	5,33	4,51	3,99	3,66	3,26	2,82	2,52	2,08	1,65	1,58	1,43	1,32
1.5 V рівня електрифікації в будинках на ділянках садових товариств	3,50	2,84	1,91	1,47	1,22	1,07	0,96	0,83	0,66	0,58	0,52	0,48	0,47	0,46	0,41
2. Житло 2-го виду															
2.1 I рівня електрифікації в будинках з плитами на природному газі	9,00	6,33	5,29	4,36	3,72	3,26	2,94	2,51	2,00	1,78	1,62	1,47	1,24	1,08	0,99
2.2 II рівня електрифікації в будинках з електроплитами потужністю 10,5 кВт за індивідуальним проектом	16,00	13,05	8,34	6,41	5,39	4,77	4,36	3,83	3,18	2,83	2,51	2,16	1,88	1,77	1,76

Таблиця Б.2 – Значення коефіцієнта одночасності $K_{од}$

Характеристика котеджу	Коефіцієнт одночасності $K_{од}$ при кількості житла (котеджів)												
	1	3	6	9	12	15	18	24	40	60	100	200	400
З плитами на природному газі	1	0,65	0,51	0,38	0,32	0,28	0,26	0,22	0,18	0,16	0,14	0,12	0,11
З електроплитами потужністю до 10,5 кВт	1	0,81	0,50	0,38	0,32	0,29	0,27	0,24	0,20	0,18	0,16	0,14	0,13
Те саме з повним електроопаленням пл. 150 м ²	1	0,87	0,65	0,56	0,52	0,50	0,49	0,47	0,44	0,42	0,41	0,40	0,39
Те саме з повним електроопаленням пл. 300 м ²	1	0,90	0,73	0,66	0,63	0,62	0,60	0,59	0,57	0,55	0,54	0,53	0,52
Те саме з повним електроопаленням пл. 600 м ²	1	0,93	0,81	0,77	0,75	0,74	0,73	0,72	0,70	0,69	0,68	0,675	0,67

Примітка. Коефіцієнти одночасності для всіх котеджів подані з урахуванням проточних електро-водопідігрівальних приладів. Для котеджів з електроопаленням значення $K_{од}$ подані для режиму постійного ввімкнення електроопалювальних приладів протягом опалювального сезону і не дійсні для електротеплоаккумуляційних систем, що працюють в період мінімальних навантажень системи.

Таблиця Б.3 – Коефіцієнти попиту для ліфтових установок

Кількість ліфтових установок	К сп.л для будинків висотою	
	до 12 поверхів	12 і більше поверхів
2–3	0,80	0,90
4–5	0,70	0,80
6	0,65	0,75
10	0,50	0,60
20	0,40	0,50
25 и больше	0,35	0,40

Примітка. Коефіцієнт попиту для кількості ліфтових установок, не вказаних в таблиці, визначаємо інтерполяцією

Таблиця Б.4 – Значення коефіцієнта попиту $K_{сп.сан}$ для сантехнічних установок

Питома вага встановленої потужності працюючого сантехнічного і холодильного обладнання, включаючи системи кондиціонування повітря, в загальній встановленій потужності працюючих силових електроприймачів, %	$K_{сп.сан}$ при кількості електроприймачів											
	2	3	5	8	10	15	20	30	50	100	200	
100–85	1 (0,8)	0,90 (0,75)	0,80 (0,7)	0,75	0,70	0,65	0,65	0,60	0,55	0,55	0,50	
84–75			0,75	0,70	0,65	0,60	0,60	0,60	0,55	0,55	0,50	
74–50			0,70	0,65	0,65	0,6	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	
49–25			0,65	0,60	0,60	0,55	0,50	0,50	0,50	0,45	0,45	
24 і менше			0,60	0,60	0,55	0,50	0,50	0,50	0,45	0,45	0,40	

Примітка 1. У встановлену потужність резервні електроприймачі не включаються.

Примітка 2. У дужках наведені коефіцієнти попиту для електродвигунів одиничної потужності більше 30 кВт.

Примітка 3. Коефіцієнт попиту для кількості приєднаних електроприймачів, не вказаних в таблиці, визначається інтерполяцією.

Таблиця Б.5 — Питоми розрахункові навантаження вуличного освітлення

Категорія вулиць і доріг	Характеристика	Найбільша інтенсивність руху в обох напрямках, Од/годину	Питоме навантаження, кВт/км
А	Магістральні вулиці загальноміського значення, скоростні доріги	500–3 000 і більше	80–100
Б	Магістральні вулиці районного значення	500–2 000 і більше	30–80
В	Вулиці і дороги місцевого значення	До 500	7–10

Таблиця Б.6 – Коефіцієнти участі в максимумі навантаження

[illegible]

Таблиця Б.7 – Значення розрахункових коефіцієнтів потужності

Лінія живлення	Розрахункові коефіцієнти	
	потужності ($\cos \varphi$)	рактивного навантаження ($\operatorname{tg} \varphi$) $\operatorname{tg} \varphi$
Квартири з електричними плитами	0,98	0,20
Квартири з електричними плитами та побутовими кондиціонерами повітря	0,93	0,40
Квартири з плитами на природному, зрідженому газі, на твердому паливі	0,96	0,29
Квартири з плитами на природному, зрідженому газі, на твердому паливі і з побутовими кондиціонерами повітря	0,92	0,43
Загальнобудинкове освітлення: з лампами розжарювання	1,00	0,00
те саме з люмінесцентними лампами	0,92	0,43
Господарські насоси, вентиляційні установки та інші санітарно-технічні пристрої	0,80	0,75
Ліфти	0,65	1,17
Примітка. Коефіцієнт потужності лінії, що живить один електродвигун, приймають за каталожними даними цього двигуна		

Таблиця Б.8 – Номінальні потужності ліфтів

Кількість поверхів будівлі	6–9	12	16	20–25
Кількість ліфтів в одній секції	1	2	2	2–3
Номінальна потужність двигунів, кВт	7	7; 11	11	7; 11–15

Таблиця Б.9 – Коефіцієнти суміщення максимуму навантаження ТП, що живляться від конкретного РП

Кількість ТП	3–5	6–10	11–20	21 і більше
Коефіцієнт суміщення	0,90	0,80	0,75	0,70

Таблиця Б.10 – Економічна щільність струму, А/мм²

Дроти, кабелі	Тривалість використання максимуму навантаження, год/рік		
	1 000–3 000	3 000–5 000	5 000–8 700
Голі дроти й шини мідні	2,5	2,1	1,8
Те саме, алюмінієві	1,3	1,1	1,0
Кабелі з паперовою і дроти з гумовою та полівінілхлоридною ізоляцією з мідними жилами	3,0	2,5	2,0
Те саме з алюмінієвими	1,6	1,4	1,2
Кабелі з гумовою та пластмасовою ізоляцією з мідними жилами	3,5	3,1	2,7
Те саме з алюмінієвими	1,9	1,7	1,6

Таблиця Б.11 – Орієнтовні питомі розрахункові електричні навантаження громадських будівель і споруд громадського призначення

Об'єкти масового будівництва	Одиниця виміру	Питоме навантаження	Розрахункові коефіцієнти	
			потужність (cos φ)	реактивне навантаження (tg φ)
1	2	3	4	5
Підприємства громадського харчування	кВт на місце			
а) повністю електрифіковані з кількістю місць до 500 включно		1,03	0,98	0,20
б) з кількістю місць більше 500 до 1 000 включно		0,85	0,98	0,20
в) з кількістю місць більше 1 000				
г) частково електрифіковані (з плитами на газоподібному паливі) з кількістю місць до 500 включно		0,75 0,80	0,98 0,95	0,20 0,33
д) з кількістю місць більше 500 до 1 000 включно		0,70	0,95	0,33
е) з кількістю місць вище 1 000		0,60	0,95	0,33
Підприємства роздрібної торгівлі:	кВт на м торг.залу			
а) продовольчі без кондиціонування повітря		0,23	0,85	0,62
б) продовольчі з кондиціонуванням повітря		0,25	0,80	0,75
в) промтоварні без кондиціонування повітря		0,14	0,85	0,62
г) промтоварні з кондиціонуванням повітря		0,15 0,15	0,8 0,87	0,75 0,57
д) універсами без кондиціонування повітря				
е) універсами з кондиціонуванням повітря		0,20	0,85	0,62
Загальноосвітні школи:	кВт на одного учня			
а) з електрифікованими їдальнями і спортзалами.		0,25	0,95	0,33
б) без електрифікованих їдальнь, зі спортзалами		0,17	0,90	0,48
в) з буфетами, без спортзалів		0,17	0,90	0,48
г) без буфетів і спортзалів		0,15	0,90	0,48
Професійно-технічні навчальні заклади з їдальнями	кВт на одного учня	0,45	0,80-0,92	0,75-0,48
Дитячі дошкільні заклади:	кВт на місце			
а) з електрифікованими кухнями		0,45 0,20	0,98	0,20
б) з газовими плитами				
Школи-інтернати	кВт на місце	1,10	0,95	0,33
Будинки-інтернати для інвалідів та людей похилого віку	кВт на место	2,20	0,93	0,40

Продовження таблиці Б.11

Установи охорони здоров'я та відпочинку:				
а) лікарні хірургічного профілю з електрифікованими кухнями	кВт на ліжко-місце	2,50	0,92	0,43
б) хірургічні корпуси (без кухонь)		0,80	6,95	0,33
в) лікарні багатoproфільні з електрифікованими кухнями		2,20	0,93	0,40
г) терапевтичні корпуси (без кухонь)		0,50	0,95	0,33
д) радіологічні корпуси (без кухонь)		0,70	0,95	0,33
е) лікарні дитячі з електрифікованими кухнями		2,00	0,93	0,40
ж) терапевтичні корпуси дитячих лікарень (без кухонь)		0,40	0,95	0,33
Будинки відпочинку та пансіонати	кВт на місце			
без кондиціонування повітря		0,40	0,92	0,43
Дитячі табори	кВт на м ² житл.помешк.	0,03	0,92	0,43
Поліклініки	кВт на відв. за зміну	0,15	0,92	0,43
Аптеки:	кВт на м ² торг. залу			
а) без приготування ліків		0,12	0,93	0,40
б) з приготуванням ліків		0,17	0,90	0,48
Кінотеатри та кіноконцертні зали:	кВт на місце			
а) з кондиціонуванням повітря		0,15	0,92	0,43
б) без кондиціонування повітря		0,12	0,95	0,33
Театри й цирки	кВт на місце	0,35	0,9	0,48
Палаци культури, клуби	кВт на місце	0,45	0,92	0,43
Готелі (без ресторанів);				
а) з кондиціонуванням повітря	кВт на місце	0,50	0,85	0,62
б) без кондиціонування повітря		0,35	0,85	0,62
Фабрики хімчистки та пральні самообслуговування	кВт/кг речей	0,08	0,75	0,88
Комбінати побутового обслуговування населення	кВт на роб. місце	0,60	0,85	0,62
Перукарні	кВт на роб. місце	1,45	0,97	6,25
Гуртожитки:	кВт на місце			
а) з електроплитами на кухнях		0,50	0,95	0,33
б) без електроплит на кухнях		0,20	0,93	0,40
Споруди (приміщення) для науково-дослідних установ, проектних, управлінських, громадських організацій і культових споруд, адміністративних будівель підприємств	кВт на м ² корисної площі			
а) з кондиціонуванням повітря		0,055	0,85	0,62
б) без кондиціонування повітря		0,04	0,90	0,48
Навчальні корпуси вищих, середніх спеціальних навчальних закладів (без їдальнь):	кВт на м ² корисної площі	0,05	0,90	0,48
а) з кондиціонуванням повітря		0,05	0,90	0,48
б) без кондиціонування повітря		0,035	0,92	0,43
Лабораторні корпуси вищих, середніх спеціальних навчальних закладів (без їдальнь):	кВт на м ² корисної площі			
а) з кондиціонуванням повітря		0,07	0,85	0,62
б) без кондиціонування повітря		0,055	0,87	0,57
Гаражі (стоянки) індивідуального автотранспорту:	кВт/ місце			
а) стаціонарні відкриті стоянки		0,05	0,90	0,48
б) закриті гаражі-боксы		0,12	0,90	0,48
в) закриті багатоповерхові та підземні гаражі		0,22	0,87	0,57

Примітка 1. Наведені питомі електричні навантаження призначені для орієнтовного (попереднього) визначення розрахункового навантаження на вводах до ординарних об'єктів (споруд, приміщень) і враховують усереднений комплекс електроприймачів, що встановлюють (включаючи комп'ютерну техніку).
Примітка 2. Для підприємства громадського харчування питоме навантаження не залежить від наявності кондиціонерів повітря.
Примітка 3. Для професійних навчальних закладів з їдальнями та дитячими дошкільними закладами навантаження басейнів і спортивних залів не враховані.
Примітка 4. Для будинків відпочинку та пансіонатів без кондиціонування повітря, дитячих таборів, готелів (без ресторанів), будинків (приміщень) для науково-дослідних закладів, проектних, управлінських, громадських організацій, культових споруд, адміністративних будівель підприємств, навантаження їдальнь закритого типу та ресторанів не врахована. При необхідності її слід визначати за питомими показниками підприємств громадського харчування із заданою кількістю місць.
Примітка 5. Для побутових будівель підприємств використовують зафіксовані в таблиці показники відповідних за призначенням громадських споруд.

Таблиця Б.12 – Припустимі тривалі струмові навантаження (А) на кабелі з мідними (чисельник) та алюмінієвими (знаменник) жилами, з паперовою просоченою маслоканіфольною та нестікаючою ізоляцією у свинцевій або алюмінієвій оболонці

Переріз, мм ²	При прокладанні у повітрі					При прокладанні в землі				
	Двожильні до 1 кВ	трижильні			Чотирижильні до 1 кВ	Двожильні до 1 кВ	трижильні			Чотирижильні до 1 кВ
		до3 кВ	6 кВ	10 кВ			до 3 кВ	6 кВ	10 кВ	
	Максимально припустима температура жил, °С									
	80	80	65	60	80	80	80	65	60	80
2,5	30/23	28/22				45/35	40/31	—	—	—
4	40/31	37/29	—	—	35/27	60/46	55/42	—	—	50/38
6	55/42	45/35	—	—	45/35	80/60	70/55	—	—	60/46
10	75/55	60/46	55/42	—	60/45	105/80	95/75	80/60	—	85/65
16	95/75	80/60	65/50	60/46	80/60	140/110	120/90	105/80	95/75	115/90
25	130/100	105/80	90/70	85/65	100/75	185/140	160/125	135/105	120/90	150/115
35	150/115	125/95	110/85	105/80	120/95	225/175	190/145	160/125	150/115	175/135
50	185/140	155/120	145/110	135/105	145/110	270/210	235/180	200/155	180/140	215/165
70	225/175	200/155	175/135	165/130	185/140	325/250	285/220	245/190	215/165	265/200
95	275/210	245/190	215/165	200/155	215/165	380/290	340/260	295/225	265/205	310/240
120	320/245	285/220	250/190	240/185	260/200	435/335	390/300	340/260	310/240	350/270
150	375/290	330/255	290/225	270/210	300/230	500/385	435/335	390/300	353/275	395/305
185	—	375/290	325/250	305/235	340/260	—	490/380	440/340	400/310	450/345
240	—	430/330	375/290	350/270	—	—	570/440	510/390	460/355	—

Таблиця Б.13 – Поправні коефіцієнти на кількість працюючих кабелів, що лежать поряд в землі (в трубах та без труб)

Відстань на світлі, мм;	Кількість кабелів					
	1	2	3	4	5	6
100	1,00	0,90	0,85	0,80	0,78	0,75
200	1,00	0,92	0,87	0,84	0,82	0,81
300	1,00	0,93	0,90	0,87	0,86	0,85

Таблиця Б.14 – Припустиме короткочасне перевантаження для кабелів напругою до 10 кВ з паперовою просоченою ізоляцією

Коефіцієнт попереднього навантаження	Вид прокладки	Припустиме перевантаження відносно номінального на протязі, год		
		0,5	1,0	3,0
0,6	В землі	1,35	1,30	1,15
	В повітрі	1,25	1,15	1,10
	В трубах (в землі)	1,20	1,10	1,0
0,8	В землі	1,20	1,15	1,10
	В повітрі	1,15	1,10	1,05
	В трубах (в землі)	1,10	1,05	1,00

Таблиця Б.15 – Поправний коефіцієнт K_t на температуру землі

Нормована температура жил, °С	Поправний коефіцієнт на струми при температурі землі, °С										
	-5 і нижче	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45
80	1,14	1,11	1,08	1,04	1,0	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78	0,73
60	1,20	1,15	1,12	1,06	1,0	0,94	0,88	0,82	0,75	0,67	0,57

Таблиця Б.16 – Поправний коефіцієнт K_c на питомий тепловий опір землі

Характеристика землі	Питомий тепловий опір, см·К /Вт	Поправний коефіцієнт
Пісок вологістю більше 9 %	80	1,05
Нормальний ґрунт та пісок вологістю 7—9 %	120	1,00
Пісок вологістю більше 4, але менше 7 %	200	0,87
Пісок вологістю до 4 %, каменистий ґрунт	300	0,75

Таблиця Б.17 – Активні r_k й індуктивні x_k опори кабелів з алюмінієвими жилами та паперовою просоченою ізоляцією

Переріз струмопровідної жили, мм ²	Активний опір жили, Ом/км	Індуктивний опір, Ом/км, при номінальній напрузі кабелю, кВ	
		До 1	10
50	0,62	0,062 5	0,090
70	0,443	0,061 2	0,086
95	0,326	0,060 2	0,083
120	0,258	0,060 2	0,081
150	0,206	0,059 6	0,079
185	0,167	0,059 6	0,077
240	0,129	0,058 7	0,075

Таблиця Б.18 – Припустимий тривалий струм кабелів з алюмінієвими жилами з паперовою просоченою або пластмасовою ізоляцією, що прокладаються в землі

Переріз струмоведучої жили, мм ²	Струм кабелів, А		
	З паперовою ізоляцією		З пластмасовою ізоляцією
	4 ^х – жильні до 1 кВ	3 ^х – жильні до 10 кВ	4 ^х – жильні до 1 кВ
10	65	–	64
16	90	75	85
25	115	90	106
35	135	115	129
50	165	140	161
70	200	165	193
95	240	205	235
120	270	240	271
150	305	275	308
185	345	310	354
240	–	355	–

Таблиця Б.19 – Питоме навантаження житлових будинків, Вт/м², коефіцієнт потужності

Кількість поверхів	Вид плит		
	на природному газі	на зрідженому газі або твердому паливі	електричні
1–2	9,5/0,96	11,7/0,96	20/0,98
3–5	9,3/0,96	11,2/0,96	18,2/0,98
5 і більше (частина квартир в будинках вище 5 поверхів)			
20 %	10,2/0,94	12,2/0,94	19,8/0,97
50 %	10,9/0,93	16,5/0,93	20,4/0,97
100 %	12,0/0,92	18,0/0,92	21,5/0,96

Виробничо-практичне видання

Методичні рекомендації
до виконання курсового проєкту

«ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ РАЙОНУ МІСТА»

з дисципліни

«ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МІСТ І ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ»

*(для магістрів денної та заочної форм навчання за спеціальністю
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітньо-
професійна програма: Електротехнічні системи електроспоживання)*

Укладачі: **ХАРЧЕНКО** Віктор Федорович,
ВОРОПАЙ Валентина Григорівна,
ГАРЯЖА Василь Миколайович

Відповідальний за випуск *В. О. Коробка*

Технічний редактор В. І. Шалда

Комп'ютерне верстання *В. Ф. Харченко*

План 2020, поз. 190 М

Підп. до друку 04.06.2020 Формат 60 × 84/16
Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 4,7
Зам. № Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет міського господарства
імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017.