

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання курсової роботи

«Електропостачання міст та промислових підприємств»

з курсу

«ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МІСТ ТА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ»

(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної, заочної та дистанційної форм навчання зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітньо-професійна програма «Електротехнічні системи електроживлення»)

Методичні рекомендації до виконання курсової роботи «Електропостачання міст та промислових підприємств» з курсу «Електропостачання міст та промислових підприємств» (для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної, заочної та дистанційної форм навчання зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітньо-професійна програма «Електротехнічні системи електроспоживання») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. В. Ф. Харченко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 67 с.

Укладач д-р техн. наук, проф. В. Ф. Харченко

Рецензент

В. Є. Плюгін, доктор технічних наук, професор, професор кафедри систем електропостачання та електроспоживання міст Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою систем електропостачання та електроспоживання міст, протокол № 3 від 04.10.2024

ЗМІСТ

1 Загальні рекомендації	4
2 Завдання на курсову роботу і короткий зміст пояснювальної записки.....	5
3 Визначення розрахункових навантажень	8
3.1 Визначення розрахункових навантажень на введеннях житлових будинків	8
3.2 Розрахунок навантажень громадських і комунальних будинків	13
3.3 Розрахунок навантаження зовнішнього освітлення	15
3.4 Визначення навантаження мікрорайону міста	16
4 Визначення кількості підстанцій у мікрорайоні	19
5 Розподіл навантаження мікрорайону по підстанціях	21
6 Розміщення трансформаторних підстанцій на плані мікрорайону та картограмі навантажень	23
7 Вибір схеми електропостачання району міста	26
7.1 Вибір і розрахунок живильної мережі з напругою 10 кВ	26
7.2 Вибір розподільної мережі з напругою 0,4 і 10 кВ	31
7.3 Розрахунок розподільної електричної мережі на 10 кВ	40
7.4 Розрахунок розподільної електричної мережі на 0,4 кВ	50
Список рекомендованих джерел	57
Додатки	59

1 ЗАГАЛЬНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

У методичних рекомендаціях до виконання курсової роботи «Електропостачання міст та промислових підприємств» наведені основні методи розрахунків електричних навантажень і елементів мережі, а також довідкові матеріали, необхідні при розробці проєкту. Акцент курсової роботи зміщено в бік електропостачання району міста, оскільки основні методи розрахунку таких мереж подібні до промислових мереж, за винятком розрахунку навантаження підприємства, а ці матеріали включені до практичних занять. Курсова робота повинна складатися з пояснювальної записки в обсязі 30–40 сторінок. Завдання на виконання роботи видає викладач і вони містять вихідні дані на проєктування: генеральний план мікрорайону і району міста, характеристика споживачів, інформація про джерело живлення для мікрорайону або району міста. Курсову роботу можна умовно розділити на декілька частин. У першій частині розглядаються питання визначення електричних навантажень міської електричної мережі. Важливо на цьому етапі розрахунку з достатньою точністю визначити навантаження мікрорайону і району міста, що в підсумку визначає техніко-економічні показники запроєктованої мережі електропостачання. Друга частина роботи спрямована на раціональний вибір схеми електропостачання мікрорайону і району міста виходячи з потужності мікрорайону та електроприймачів, категорії електропостачання та місць розташування підстанцій. У третій частині роботи проводиться вибір і розрахунок мережі на 10 кВ та 0,4 кВ. У цих розрахунках обов'язково враховується, що мережа працює в нормальному та аварійному режимах. Це дає змогу побудувати надійну, техніко-економічну систему електропостачання району міста.

2 ЗАВДАННЯ НА КУРСОВУ РОБОТУ І КОРОТКИЙ ЗМІСТ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

Для виконання курсової роботи «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 вході житлових будинків, громадсько-комунальних будівель і відповідно до плану району міста розраховує навантаження зовнішнього освітлення. Це дає підстави 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 із напругою 0,4 і 10 кВ.

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет міського господарства
імені О. М. Бекетова
Кафедра «Систем електропостачання та електроспоживання міст»

З А В Д А Н Н Я - 01

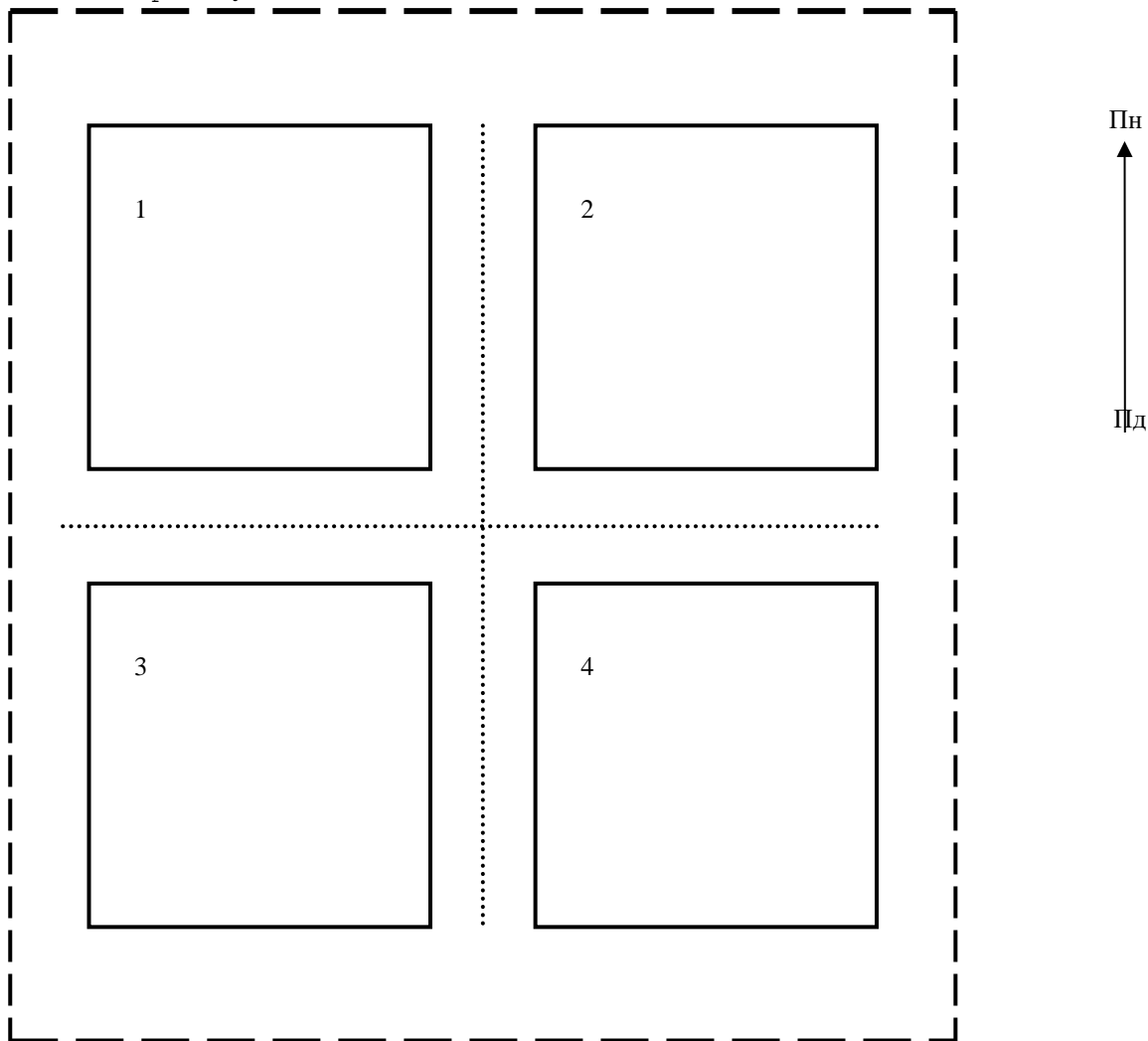
на курсову роботу «Електропостачання міст та промислових підприємств» з курсу «Електропостачання міст та промислових підприємств» студенту ____ курсу _____ інституту

(ПІБ)

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. Кількість годин використання максимуму навантажень _____

7. Термін виконання _____

8. Дата видачі _____

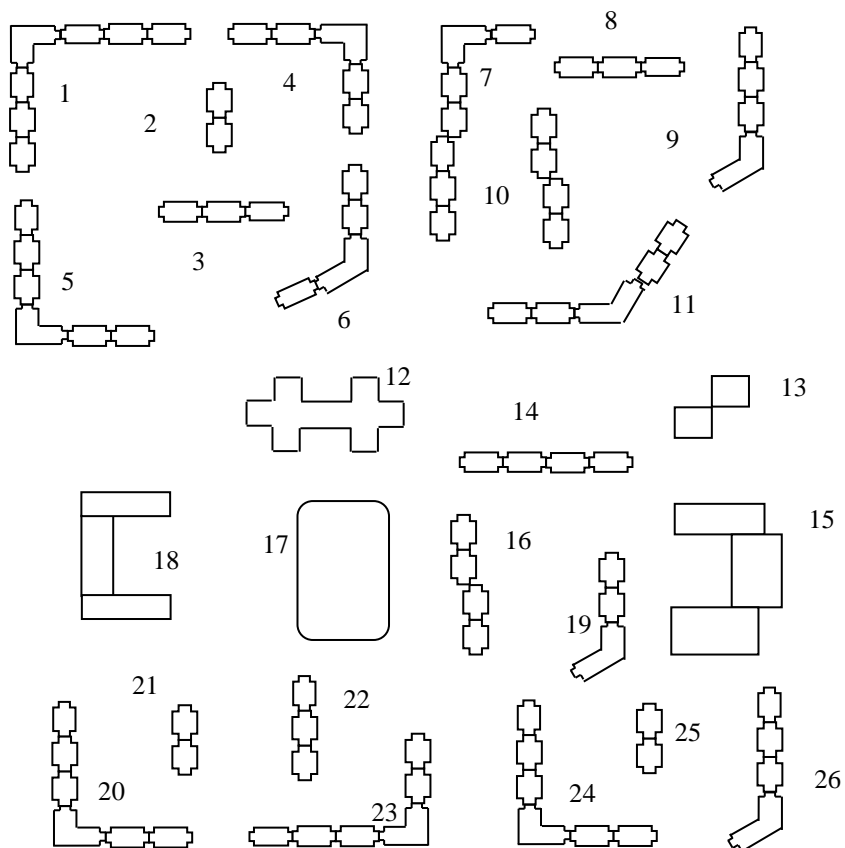
9. Одержав _____ підпис

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 м ²

3 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 тощо.

3.1 Визначення розрахункових навантажень на введеннях житлових будинків

Відповідно до державних будівельних норм ДБН В.2.5-23:2010 житло (квартири) щодо оснащення 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 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 до 300 м² і заявленою (встановленою) потужністю електроприймачів від 30 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 до 600 м² і заявленим Замовником високим рівнем комфортності, що відповідає потужності електроприймачів від 60 кВт до 140 кВт.

Для житла 1-го 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 2-го 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 А.1 (дод. А) і враховують застосування в житловому 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 із напругою 0,4 кВ ТП, $P_{жсN}$, $Q_{жсN}$ визначається за формулами

$$P_{жсN} = P_{жсн} N, \quad (3.1)$$

$$Q_{жсN} = P_{жсN} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{жс}, \quad (3.2)$$

де $P_{жсн}$ – питоме розрахункове електричне навантаження одного житла (квартири), що вибирається за таблицею А.1 додатка А залежно від прийнятого рівня електрифікації і кількості квартир, приєднаних до цієї ланки електромережі, кВт/житло;

N – кількість житла (квартир), приєднаного до введення, лінії, ТП (питомі розрахункові електричні навантаження житла охоплюють навантаження освітлення загальнобудинкових приміщень);

$\operatorname{tg} \varphi_{жс}$ – коефіцієнт реактивної потужності (табл. А.7).

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

$$P_{\text{сил}} = K_{n.l} \sum_1^n P_l + K_{n.сан} \sum_1^n P_{\text{сан}}, \quad (3.3)$$

$$Q_{\text{сил}} = P_l \operatorname{tg} \varphi_l + P_{\text{сан}} \operatorname{tg} \varphi_{\text{сан}}, \quad (3.4)$$

де $K_{n.l}$ – коефіцієнт попиту для ліфтів, що визначається за таблицею А.3 додатка А, залежно від кількості ліфтових установок і кількості поверхів будинку;

$P_{l1} \dots P_{ln}$ – встановлена потужність електродвигуна кожного з ліфтів за паспортом, кВт;

$P_{сан1} \dots P_{санn}$ – встановлена потужність кожного електродвигуна сантехнічних установок за їхніми паспортами, кВт;

$K_{n.сан}$ – коефіцієнт попиту для електродвигунів сантехнічних установок, визначається за таблицею А.4 додатка А;

$\operatorname{tg} \varphi_l$ і $\operatorname{tg} \varphi_{\text{сан}}$ – коефіцієнти, що враховують реактивне навантаження квартир і загальнодомових електроприймачів відповідно. Значення коефіцієнта потужності на введенні житлових будинків приймаються за таблицею А.7 додатка А.

Якщо як силове навантаження використовують ліфти різної потужності, тоді

$$P_c = (P_{l1} n_{l1} + P_{l2} n_{l2}) K_n, \quad (3.5)$$

де K_n – коефіцієнт попиту ліфтів (табл. А.2);

$P_{l1} = 7$ кВт; $P_{l2} = 11$ кВт – потужність ліфтів першого і другого типів;

n_{l1} і n_{l2} – 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, $P_{б.ж}$ визначаються за формулами

$$P_{б.ж} = P_{ж} + 0,9 P_{\text{сил}} + \sum_1^n P_{\text{цив}} K_i, \quad (3.6)$$

$$Q_{б.ж} = Q_{ж} + 0,9 Q_{\text{сил}} + \sum_1^n Q_{\text{цив}} K_i, \quad (3.7)$$

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

$P_{сил}$ і $Q_{сил}$ – відповідно, розрахункове навантаження силових електроприймачів житлового будинку, кВт;

$P_{цив1} \dots P_{цивn}$ і $Q_{цив1} \dots Q_{цивn}$ – відповідно, розрахункові навантаження вбудованих або прибудованих цивільних приміщень, що живляться від електрощитової житлового будинку і визначаються за методикою розрахунку навантажень громадських будівель;

$K_{y+1} \dots K_{y+n}$ – коефіцієнти участі в максимумі навантаження квартир і силових електроприймачів житлового будинку навантажень вбудованих і прибудованих приміщень, що визначаються за таблицею А.6 додатка А.

Для вибору параметрів електричних мереж необхідно знати повне навантаження:

$$S_{б.ж.} = \sqrt{P_{б.ж.}^2 + Q_{б.ж.}^2}, \quad (3.8)$$

де $P_{б.ж.}$ – активне навантаження житлового будинку, кВт;

$Q_{б.ж.}$ – реактивне навантаження житлового будинку, кВАр;

Приклад. Визначити навантаження житлового будинку, якщо відомо, що житло в цьому будинку щодо оснащення побутовими електроприладами належить 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 (3.1) визначаємо активне навантаження житла (квартир), попередньо встановивши за таблицею А.1 додатка А питоми розрахункове електричне навантаження одного житла:

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

2. Знаходимо реактивне навантаження житла (квартир):

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

де $\operatorname{tg} \varphi_{кв}$ визначаємо за таблицею А.6 додатка А.

3. Знаходимо повне навантаження житла (квартир):

$$S_{жN} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{211,7^2 + 91^2} = 230,4 \text{ кВА.}$$

4. Визначаємо силове активне навантаження житлового будинку за виразом (3.3) з урахуванням того, що, як силове навантаження, використовуються ліфти відповідно до рекомендацій таблиці А.8 додатка А:

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

У цьому виразі друга складова $P_{сан} = 0$, оскільки в 9-поверховому будинку не передбачається установка сантехнічних двигунів, а друга складова перетворюється у виразі (3.3) при $n_{л2} = 0$.

5. Визначаємо реактивне навантаження ліфтів:

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

де $tg\varphi_c$ знаходимо з таблиці А.6 додатка А.

6. Визначаємо повне силове навантаження:

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

7. Розрахункове активне навантаження житлового будинку в цілому визначаємо за виразом (3.5):

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

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

8. За виразом (3.6) визначаємо реактивне навантаження житлового будинку:

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

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

9. Визначаємо повне навантаження житлового будинку:

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

Аналогічно визначаємо навантаження всіх житлових будинків і результати зводимо в таблицю 3.1.

3.2 Розрахунок навантажень громадських і комунальних будинків

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

$$P_{p.z.b.} = p_n N ; \quad (3.9)$$

$$Q_{p.z.b.} = P_{p.z.b.} \operatorname{tg} \varphi_{z.b.}, \quad (3.10)$$

де p_n – розрахункове питома навантаження, визначається за таблицею А.11 додатка А;

$\operatorname{tg} \varphi_{z.b.}$ – коефіцієнт реактивної потужності визначається за таблицею А.11 додатка А.

Приклад. Розрахувати навантаження загальноосвітньої школи з електрифікованою їдальнею на 1 320 учнів.

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

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

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

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

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

Таблиця 3.1 – 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	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 3.2 – 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
...	

3.3 Розрахунок навантаження зовнішнього освітлення

Зовнішнє освітлення – внутрішньоквартальне і освітлення вулиць:

$$P_{p.z.o} = P_{p.вул} + P_{p.к.о} . \quad (3.11)$$

Розрахункове внутрішньоквартального навантаження визначаємо так:

$$P_{p.к.о.} = p_{п.к.о.} F, \quad (3.12)$$

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

F – площа мікрорайону (району), га.

Розрахункове навантаження освітлення вулиць знаходимо так:

$$P_{p.вул.} = \sum_{i=1}^m p_{п.з.о.i} L_i, \quad (3.13)$$

де L_i – довжина вулиць i -ої категорії, км;

$p_{п.з.о.i}$ – питоме розрахункове навантаження освітлення вулиць i -ої категорії (табл. А.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.

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

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

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

3.4 Визначення навантаження мікрорайону міста

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

Розрахункове навантаження мікрорайону визначаємо за формулами

$$P_{м.р.} = P_{max} + \kappa_1 P_1 + \kappa_2 P_2 + \dots + \kappa_n P_n, \quad (3.14)$$

$$Q_{м.р.} = Q_{max} + \kappa_1 Q_1 + \kappa_2 Q_2 + \dots + \kappa_n Q_n, \quad (3.15)$$

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;

$\kappa_1 \dots \kappa_n$ – їхні коефіцієнти участі в максимумі навантажень (табл. А.6).

Зазвичай P_{max} належить до однорідних житлових будинків (з одним видом кухонних плит). В цьому випадку P_{max} розраховується за формулою (3.13).

$$P_{max} = p_{н.кв.} \sum n_{кв} + 0,9K_c (\sum P_{л1i} n_{л1i} + \sum P_{л2i} n_{л2i}), \quad (3.16)$$

$$Q_{max} = (P_{н.кв.} \sum n_{кв}) tg \varphi_{rd} + 0,9K_c (\sum P_{л1i} n_{л1i} + \sum P_{л2i} n_{л2i}) tg \varphi_k, \quad (3.17)$$

де $P_{н.кв.}$ – питоме навантаження квартир при $n_{кв}$ в мікрорайоні;

K_n – коефіцієнт попиту для ліфтових установок;

$P_{л1i}$, $P_{л2i}$ – потужність ліфтових установок першого і другого типу відповідно;

$n_{л1i}$ – кількість ліфтових установок першого і другого типу відповідно.

Рекомендації:

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

$$P_{р.ж.} = p_{ж.б.н.} G \cdot 10^{-3}, \quad (3.18)$$

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 А.19 додатка А, Вт/м²;

G – корисна площа житлових будинків мікрорайону (кварталу), м^2 .

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

$$P_{p.mr} = (p_{n.ж.б} + p_{n.зр.}) \cdot G \cdot 10^{-3}, \quad (3.19)$$

де $p_{n.ж.б}$ – питома навантаження житлових будинків мікрорайону, приведене до шин 0,38 кВ міських ТП, віднесене до 1 м^2 корисної площі квартир і приймається за таблицею А.19 додатка А;

$p_{n.зр.}$ – питома навантаження культурно-побутових споживачів, приймається при наявності будинків з електроплитами, дорівнює $2,6 \text{ Вт/м}^2$, з плитами на газоподібному або твердому паливі – $2,3 \text{ Вт/м}^2$;

G – корисна площа житлових будинків мікрорайону (кварталу), м^2 .

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

$$P_{p.mr} = (p_{n.ж.б} + p_{n.зр.}) \cdot G \cdot 10^{-3} + K_1 p_{n.к.м} n_1 + K_2 p_{n.п} n_2, \quad (3.20)$$

де $p_{n.к.м}$ – питоми значення навантажень для кінотеатрів, кВт/місце ;

K_1 – коефіцієнт сумісництва максимумів навантаження житлового сектора та кінотеатру;

n_1 – кількість місць в кінотеатрі;

K_2 – коефіцієнт сумісництва максимумів навантаження житлового сектора та поліклінік;

n_2 – кількість відвідувань за зміну в поліклініці;

$p_{n.п}$ – питома значення навантаження на одне відвідування в поліклініці, кВт/відв.

Приклад 1. Визначити орієнтовне навантаження мікрорайону на шинах 0,4 кВ ТП, в якому будуть побудовані житлові будинки заввишки 12–16 поверхів з електроплитами. Загальна площа квартир житлових будинків $S = 250$ тис. м^2 . 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.

$$P_{p.мр} = (p_{п.ж.б} + p_{п.зр.}) \cdot G \cdot 10^{-3} + K_1 p_{п.к.м} n_1 + K_2 p_{п.н} n_2 =$$

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

$p_{п.к.м} = 0,12$ кВт/місце, $p_{п.н} = 0,15$ кВт/відвід. – визначались за таблицю А.11 додатку А; $K_1 = 0,9$, $K_2 = 0,7$ – за таблицею А.6 додатка А.

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) становить 150 кВт ($tg\varphi = 0,2$), загальноосвітні школи – 200 кВт ($tg\varphi = 0,33$), підприємства торгівлі – 350 кВт ($tg\varphi = 0,65$). Внутрішньоквартальне освітлення – $P_{р.к.о.} = 61,4$ кВт. Освітлення – $P_{р.вул.} = 60$ кВт.

Розв'язання.

Визначимо навантаження однотипних житлових будинків за формулами (3.14) і (3.15):

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

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

Реактивне навантаження громадських споживачів визначаємо за формулою (3.8).

Розрахунок навантаження мікрорайону виконуємо виходячи з формул (3.13), (3.14) за таблицею 3.3.

Таблиця 3.3 – Розрахунок навантаження мікрорайону міста

Найменування споживачів	P_p , кВт	Q_p , кВАр	$K_1 \dots K_n$	$P_p \cdot k_b$, кВт	$Q_p \cdot k_b$, 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

де K_i – коефіцієнт участі в максимумі для зовнішнього освітлення.

Визначаємо повну потужність навантаження мікрорайону:

$$S_{m.p.спож} = \sqrt{950^2 + 340,2^2} = 1009,1 \text{ кВАр.}$$

Далі необхідно в навантаженні мікрорайону врахувати втрати в трансформаторах і лініях:

$$\Delta P_{тр} = 0,02 \cdot S_{m.p.спож} = 1009,1 \cdot 0,02 = 20,2 \text{ кВт,}$$

$$\Delta Q_{тр} = 0,1 \cdot S_{m.p.спож} = 1009,1 \cdot 0,1 = 100,9 \text{ кВАр,}$$

$$\Delta P_{л} = 0,03 \cdot S_{m.p.спож} = 1009,1 \cdot 0,03 = 30,3 \text{ кВт.}$$

Визначаємо навантаження мікрорайону міста з урахуванням втрат у трансформаторах:

$$P_{р.м.} = P_{р.спож} + \Delta P_{тр} + \Delta P_{л} = 950 + 20,2 + 30,3 = 1000,5 \text{ кВт,}$$

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

$$S_{р.м.р.} = \sqrt{1000,5^2 + 441,1^2} = 1093,4 \text{ кВА.}$$

4 ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ ПІДСТАНЦІЙ У МІКРОРАЙОНІ

Кількість підстанцій, необхідну для живлення мікрорайону, визначаємо за виразом

$$n_{ТП} = \frac{P_{р.м.р.}}{K_3 S_{н.тр} n_{тр} \cos \varphi}, \quad \text{або} \quad \frac{S_{р.м.р.}}{K_3 S_{н.тр} n_{тр}}. \quad (4.1)$$

де K_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 належить до техніко-економічних завдань. Підвищення потужності ТП приводить до зменшення їхньої кількості і,

відповідно, вартості, але при цьому ускладнюється розподільна мережа низької напруги, і навпаки: зниження потужності ТП приводить до збільшення їхньої кількості і вартості, але розподільна мережа низької напруги виявляється легшою і, відповідно, дешевшою. Таким чином, повинна існувати оптимальна потужність ТП, що відповідає мінімуму 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.

На попередніх етапах розрахунку не всі вихідні дані ще відомі, тому з огляду на досвід проектування та 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 цей час збільшується і становить не менше 12 поверхів, що збільшує поверхневу щільність навантаження, цілком обґрунтовано на перших етапах розрахунків приймати трансформаторні підстанції 2 кВА × 630 кВА з коефіцієнтом завантаження в нормальному режимі одного трансформатора, який дорівнює 0,7.

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

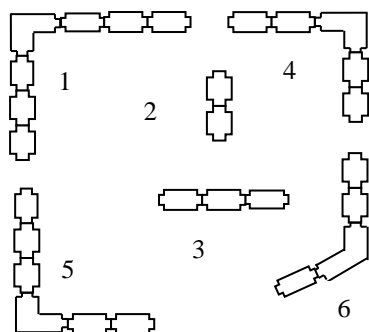
Розв'язання. З огляду на поверховість, щільність забудови мікрорайону і категорію електричних приймачів вибираємо потужність трансформаторів 630 кВт і кількість трансформаторів у ТП – 2 (формула (4.1)):

$$n_{ТП} = \frac{2259,9}{0,7 \cdot 630 \cdot 2} = 2,6 \approx 3 \text{ шт.}$$

5 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:



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 кВА × 630 кВА. Оскільки в цій частині мікрорайону розміщуються тільки житлові будинки, розрахункове навантаження цієї частини мікрорайону, що припадає на трансформаторну підстанцію за аналогією з виразом (3.15) і з урахуванням ліфтових установок:

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

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

де 0,604 – питоме навантаження, при кількості квартир в мікрорайоні 972 знаходимо за таблицею А.1 додатка А;

0,35 – коефіцієнт попиту ліфтових установок при їх кількості 27;

$$0,29 - \operatorname{tg}\varphi_{кв};$$

$$1,7 - \operatorname{tg}\varphi_{л}.$$

При визначенні кількості ліфтових установок потрібно користуватися рекомендаціями, наведеними в таблиці А.8 додатка А.

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

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

Коефіцієнт завантаження в післяаварійному режимі

$$K_{за} = \frac{S_{ТП}}{S_{мп}} = \frac{722,6}{630} = 1,151.$$

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

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

Усі розрахунки зводимо в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 – Розрахунок навантаження трансформаторних підстанцій

Номер ТП	Найменування споживачів і номери на плані	P_p , кВт	Q_p , кВАр	$K_{уч}$ в мак.	$P_p \cdot K_{уч}$, кВт	$Q_p \cdot K_{уч}$, кВАр	$S_{p,мп}$ 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

6 РОЗМІЩЕННЯ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ НА ПЛАНІ МІКРОРАЙОНУ ТА КАРТОГРАМІ НАВАНТАЖЕНЬ

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

$$r = \sqrt{\frac{S_{pi}}{\pi \cdot m}}. \quad (6.1)$$

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

$$\alpha_i = \sqrt{\frac{S_{осв.і.} \cdot 360}{S_{pi}}}. \quad (6.2)$$

Для визначення місця розташування трансформаторної підстанції визначаємо центр електричних навантажень. Побудову картограми виконуємо на підставі результатів визначення розрахункових навантажень житлових будинків, наведених в таблиці 3.1.

Центр навантажень приймаємо співпадаючим з центром ваги будинку. Це допущення обумовлене тим, що невідомий розподіл приймачів електроенергії відбувається 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 проєкцій. На генплан мікрорайону довільно наносимо осі координат, а координати центру електричних навантажень знаходимо за такими формулами:

$$X_0 = \frac{\sum S_{pi} X_i}{\sum S_{pi}}; \quad (6.3)$$

$$Y_0 = \frac{\sum S_{pi} Y_i}{\sum S_{pi}}, \quad (6.4)$$

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.

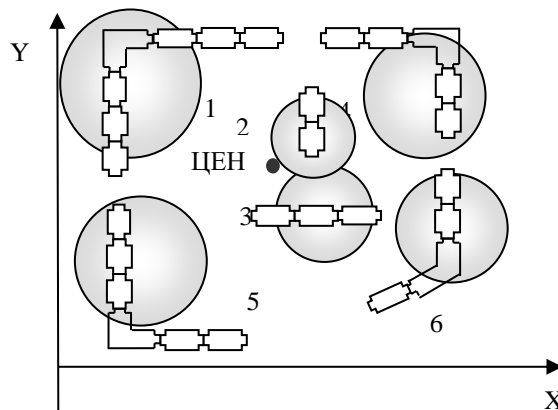


Рисунок 6.1 – План фрагмента мікрорайону

Розв’язання. Відповідно до плану фрагмента мікрорайону й електричних навантажень за формулами (6.2) і (6.3) знаходимо центр електричних навантажень:

$$X_0 = \frac{120 \cdot 20 + 63 \cdot 35 + 85 \cdot 35 + 105 \cdot 43 + 110 \cdot 18 + 75 \cdot 45}{558} = 31.3 \text{ мм};$$

$$Y_0 = \frac{120 \cdot 38 + 63 \cdot 35 + 85 \cdot 23 + 105 \cdot 39 + 110 \cdot 15 + 75 \cdot 20}{558} = 28.6 \text{ мм}.$$

Усі значення зводимо в таблицю 6.1.

Таблиця 6.1 – 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
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 центра електричних навантажень підстанцій на місцевості потрібно враховувати масштаб зображеного мікрорайону на плані.

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

За виразом (6.1) будемо 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 6.2.

Таблиця 6.2 – 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 6.2.

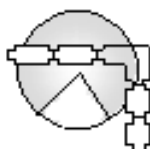


Рисунок 6.2 – Зображення картограми навантажень житлового будинку

7 ВИБІР СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ РАЙОНУ МІСТА

Трансформаторні підстанції за планом мікрорайону розподіляємо відповідно до раніше проведених розрахунків, як це показано на рисунку 7.1.

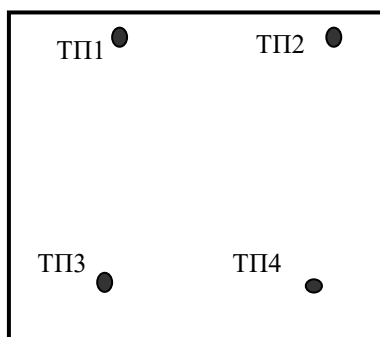


Рисунок 7.1 – План мікрорайону і розподіл трансформаторних підстанцій

Нехай район міста складається з однакових мікрорайонів. Якщо в завданні визначена кількість мікрорайонів 4, тоді план району міста матиме такий вигляд:

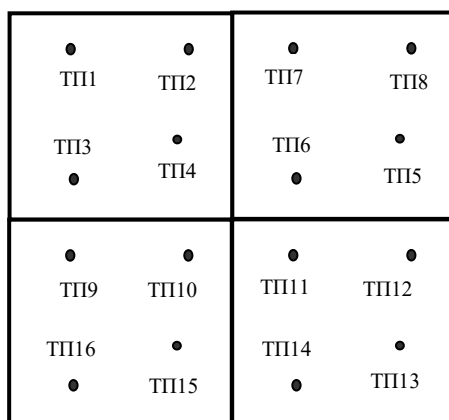


Рисунок 7.2 – План району міста і розташування трансформаторних підстанцій

7.1 Вибір і розрахунок живильної мережі з 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 ніж

5 МВт/км² 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 потрібно розміщувати в районі міста так, щоб напрям потоків енергії в живильній і розподільній мережах 10 кВ, якщо це можливо, співпадав. При цьому зменшуються втрати енергії та скорочуються витрати кабелю. Економічно доцільно розташовувати РП на 10 кВ із потужністю 14–20 мВА на території живлячого району між найближчою до джерела живлення межею і центром навантаження, заглиблюючись у район обслуговування на 10–15 % від них. Менші за потужністю РП треба розташовувати поблизу межі живлячого району. Розподільний пункт і найближчі до нього ТП доцільно суміщувати.

Визначаємо повну потужність, яку споживає район міста:

$$P_{p.m} = n \sum P_{m.p.}, \quad (7.1)$$

де n – кількість мікрорайонів у районі міста.

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

$$n_{RP} = \frac{P_{p.m.}}{P_{RP.on}}, \quad (7.2)$$

де $P_{RP.on}$ – 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 площу F_m району міста, що охоплена мережею середньої напруги та повне навантаження $P_{p.m.}$:

$$\sigma = \frac{P_{p.m.}}{F_m}. \quad (7.3)$$

Приклад. Вибрати живильну мережу на 10 кВ для електропостачання району міста, коли відомо, що район міста складається з шести мікрорайонів, є одне джерело живлення, розташоване у західній частині району та віддалене від

його межі на відстань 6 км. Навантаження району міста становить $P_{p.m} = 21\,600$ кВА, а його площа – 4 км².

Розв'язання. Поверхнева щільність навантаження

$$\sigma = \frac{P_{p.m}}{F_m} = \frac{21600}{4} = 5,4 \text{ МВт/км}^2.$$

Оптимальна потужність РП для цієї поверхневої щільності навантаження становить 11 МВт. Тоді кількість РП для цього району дорівнює двом ($21,6/11 \approx 2$), 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. 7.3).

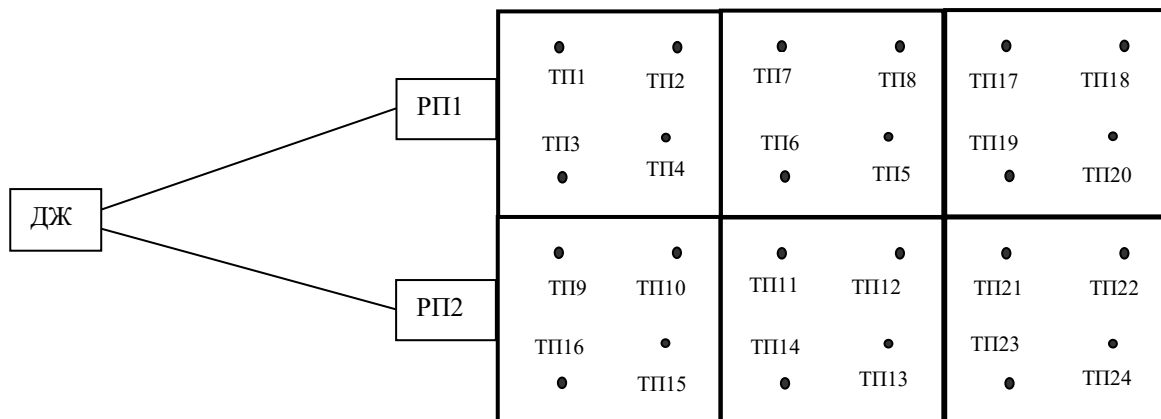


Рисунок 7.3 – Побудова живлячої лінії на 10 кВ

Живлячі 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 7.4.

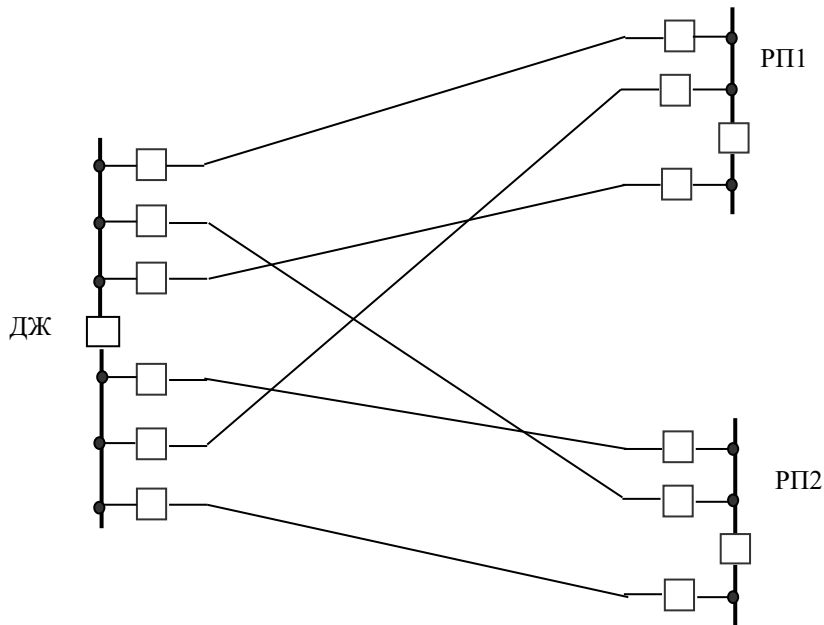


Рисунок 7.4 – Принципова схема живильних ліній

Для розрахунку такої схеми необхідно знати навантаження на РП. Оскільки це навантаження задане в умові прикладу, то ми його й приймаємо. Якщо його потрібно знайти шляхом додавання навантажень підстанцій, що підімкнені до РП, то воно визначається так:

$$S_{РП} = K_{см} \sum S_{ТП}, \quad (7.4)$$

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

Визначаємо повну потужність навантаження РП:

$$S_{РП} = \frac{10800}{0,9} = 12000 \text{ кВА.}$$

$$\text{Знаходимо струм лінії: } I_l = \frac{S_{РП}}{\sqrt{3}U_n n_l} = \frac{12000}{1,73 \cdot 10 \cdot 3} = 231 \text{ А,}$$

де n_l – кількість ліній, що живлять РП.

$$\text{Визначаємо переріз лінії: } F_l = \frac{I_l}{J_{ек}} = \frac{231}{1,4} = 165 \text{ мм}^2,$$

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

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

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

За таблицею А.12 додатку А приймаємо кабель із перерізом 95 мм².
 Припустимий струм кабелю $I_{\text{прим}} = 205 \text{ А}$.

Перевіряємо кабель за припустимим струмом на нагрівання:

$$I_p \leq \kappa_n I_{\text{прим}}, \quad (7.5)$$

де I_p – робочий струм кабелю;

κ_n – коефіцієнт, що враховує умови прокладання (табл. А.13);

$I_{\text{прим}}$ – припустимий струм кабелю.

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

$$I_p^{\text{н}} = \frac{S_{\text{РП}}}{\sqrt{3}U_n n_n} = \frac{12000}{1,73 \cdot 10 \cdot 3 \cdot 2} = 115,5 \text{ А}$$

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

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

$$I_p^{\text{ПА}} = \frac{S_{\text{РП}}}{\sqrt{3}U_n n_n} = \frac{12000}{1,73 \cdot 10 \cdot 2 \cdot 2} = 173,4 \text{ А}$$

В умовах післяаварійної роботи повинна дотримуватись така умова:

$$I_p^{\text{ПА}} \leq \kappa_{\text{пер}} \kappa_n I_{\text{прим}}, \quad (7.6)$$

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

У нормальному режимі кабель завантажений на 70 % ($115,5/166 \cdot 100 = 70$), тому в післяаварійному режимі вираз (7.6) має такий вигляд:

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

Умова дотримується, тобто переріз кабелю приймаємо рівним 95 мм².

7.2 Вибір розподільної мережі з 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 правилами улаштування електроустановок 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 ніж 16 поверхів) будівель, зокрема 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 і т. ін.), особливі операційні палати, лікарні, пологові будинки, пункти невідкладної медичної допомоги, музеї та виставки міського значення, міські ЦП (РП) із загальним навантаженням більше ніж 10 000 кВА та ін.

До другої категорії належать електроприймачі, перерва в електропостачанні яких призводить до порушення нормальної діяльності значної кількості міських мешканців. До їх складу входять житлові будинки з електроплитами, житлові будинки заввишки 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 до 2 000 м², комбінати побутового

обслуговування, ательє з кількістю робочих місць більше ніж 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 виставкові зали місцевого значення, готелі з кількістю місць від 200 до 1 000, бібліотеки, міські ЦП (РП) і ТП із загальним навантаженням від 400 до 10 000 кВА.

До третьої категорії належать всі інші електроприймачі, що не підпадають 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 введення 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 та ін.) і резервні зв'язки по мережі з 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 ввімкнення резервного живлення за рахунок чергового персоналу або виїзної оперативної бригади.

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

Електроприймачі третьої категорії можуть живитися 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 на 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 умови нормального режиму роботи (рис. 7.5).

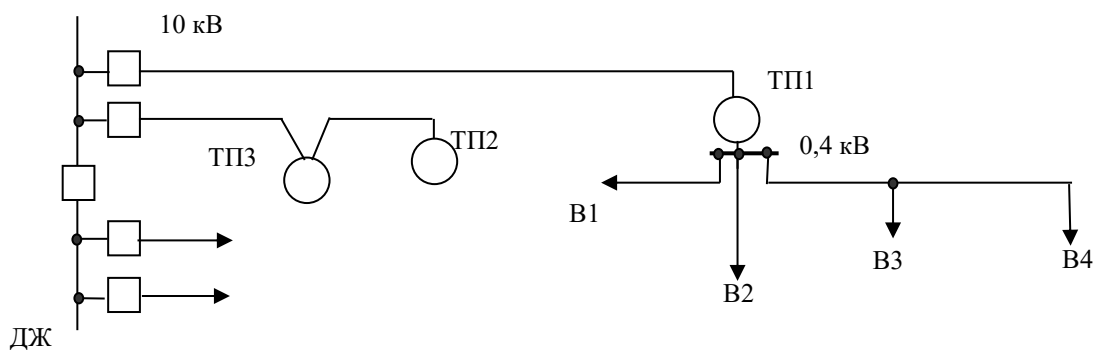


Рисунок 7.5 – Радіально-магістральна розподільна мережа на 0,4 і 10 кВ

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

Головним принципом побудови розподільної мережі для електроприймачів другої категорії є поєднання петельних ліній на 10 кВ, що забезпечують двобічне живлення кожної ТП, і петельних ліній із напругою 0,4 кВ для живлення споживачів. Петельні лінії з напругою 0,4 кВ можуть приєднуватися до однієї або різних ТП. Допускається використання автоматизованих схем (наприклад двопроневих) для живлення

електроприймачів другої категорії, якщо їх застосування призводить до збільшення приведених витрат на спорудження мережі не більше ніж на 5 %.

Петельна неавтоматизована розподільна мережа на 0,4 і 10 кВ (рис. 7.6) 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 петельні лінії на 10 кВ роз'єднуються на одній із ТП (ТП10 або ТП11). Для кабельних ліній на 0,4 кВ економічно доцільна робота при замкнених петельних схемах із встановленням розділяючого, плавкого запобіжника в лінії з найменшим потоком потужності. У процесі експлуатації в низці випадків у нормальних режимах петельні лінії на 0,4 кВ роз'єднуються аналогічно до ліній на 10 кВ.

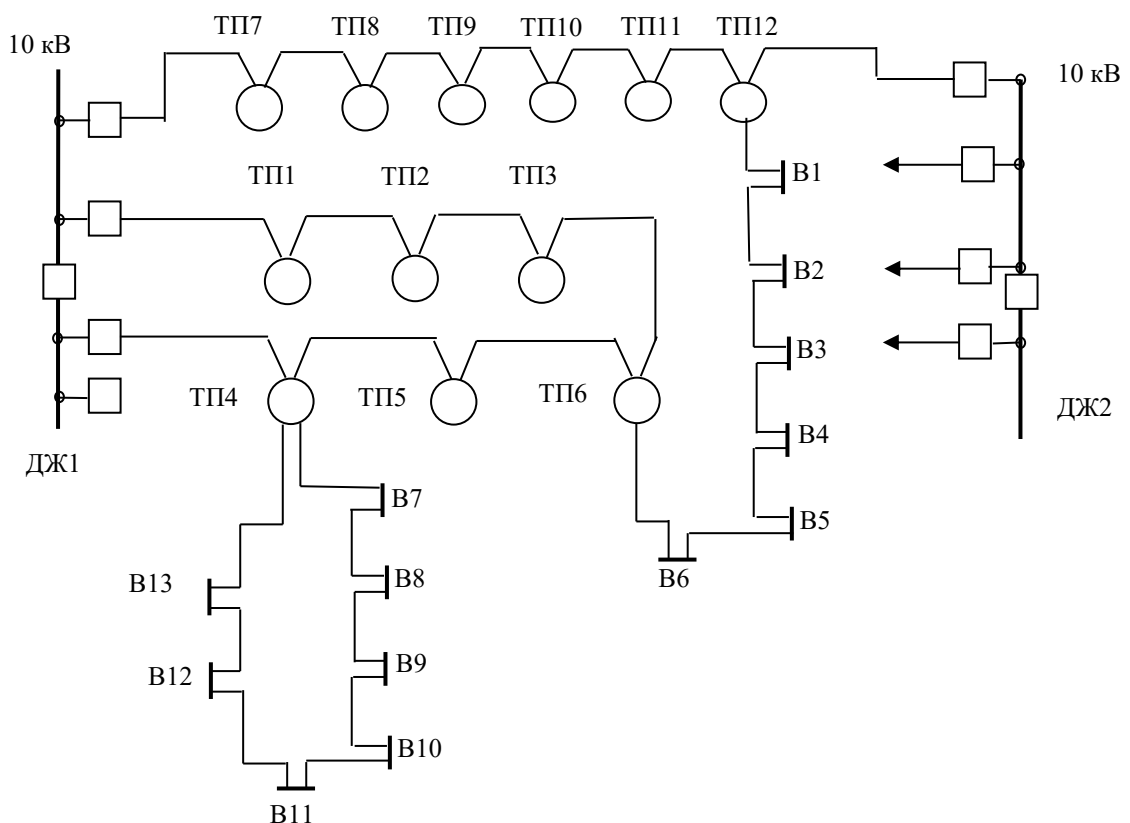


Рисунок 7.6 – Петельна неавтоматизована розподільна мережа на 0,4 і 10 кВ

Петельні мережі рекомендуються як основні для електропостачання споживачів другої і третьої категорій житлових районів міста. За технічними і

техніко-економічними показниками цей тип петельних розподільних мереж застосовується при житловій забудові будинків до 9–12 поверхів. Якщо є в наявності ТП, що живлять споживачів першої категорії, то в петельних мережах може застосовуватися вибіркоче резервування електропостачання із використанням автоматизації ввімкнення резерву. Петельні неавтоматизовані розподільні мережі при встановленні лінійних вимикачів навантаження з автоматизованим управлінням називаються петельними автоматизованими мережами на 10 кВ. У ТП встановлюється додатково комплект автоматики, що забезпечує вибіркоче вимкнення пошкоджених ліній.

Головним принципом побудови розподільної мережі для електроприймачів першої категорії є двопротинава схема з двобічним живленням з АВР на напрузі 0,4 кВ при двотрансформаторних ТП, якщо підімкнені взаєморезервовані лінії на 10 кВ до різних незалежних джерел живлення і пристрій АВР безпосередньо на вводі 0,4 кВ електроприймачів.

Приклад схеми для живлення електроприймачів першої категорії показаний на рисунку 7.7. У цій схемі для надійності електропостачання магістралі на 10 кВ переважно живляться від різних джерел.

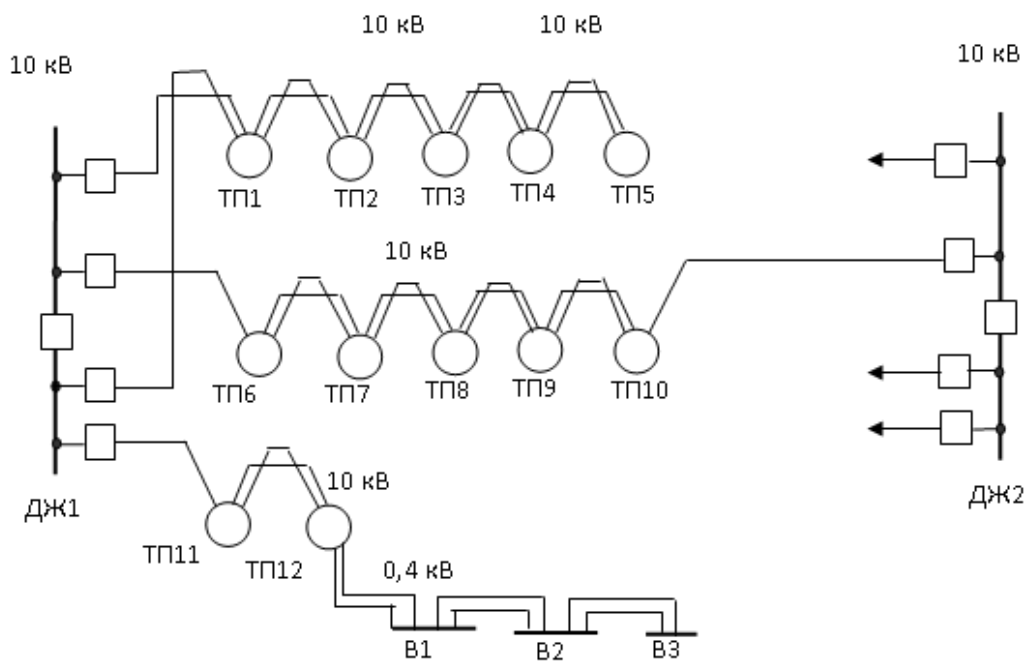


Рисунок 7.7 – Радіально-магістральна автоматизована мережа на 0,4 і 10 кВ

Областю застосування магістральних автоматизованих мереж є райони, в яких за техніко-економічними показниками доцільне застосування двотрансформаторних ТП. До таких районів орієнтовно належать житлові райони із забудовою спорудами на 12–15 поверхів і вище та із значною частиною електроприймачів першої категорії.

При одночасному живленні приймачів першої, другої і третьої категорій зазвичай використовують комбіновані двопроменево-петельні схеми розподільної мережі на 10 кВ (рис. 7.8).

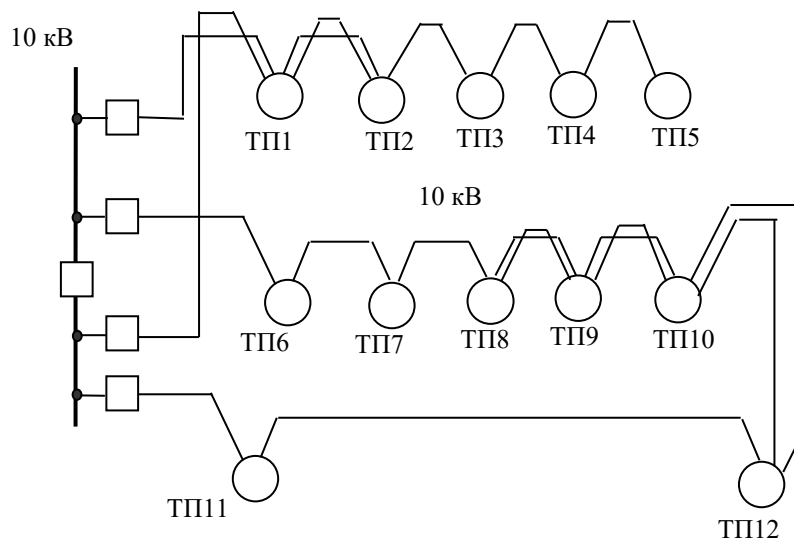


Рисунок 7.8 – Комбінована двопроменево-петельна схема розподільної мережі з напругою 10 кВ

При застосуванні схеми живлення, що зображена на рисунку 7.5, як правило, використовують однострансформаторні схеми ТП – рисунок 7.9; при використанні магістральних розподільних мереж на 10 кВ і однострансформаторних ТП – рисунок 7.10.

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. 7.11).

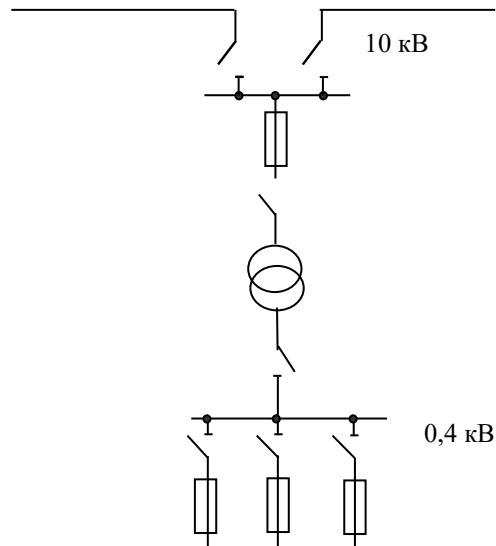


Рисунок 7.9 – Схема однострансформаторної підстанції без автоматизованого резервування з боку 10 кВ

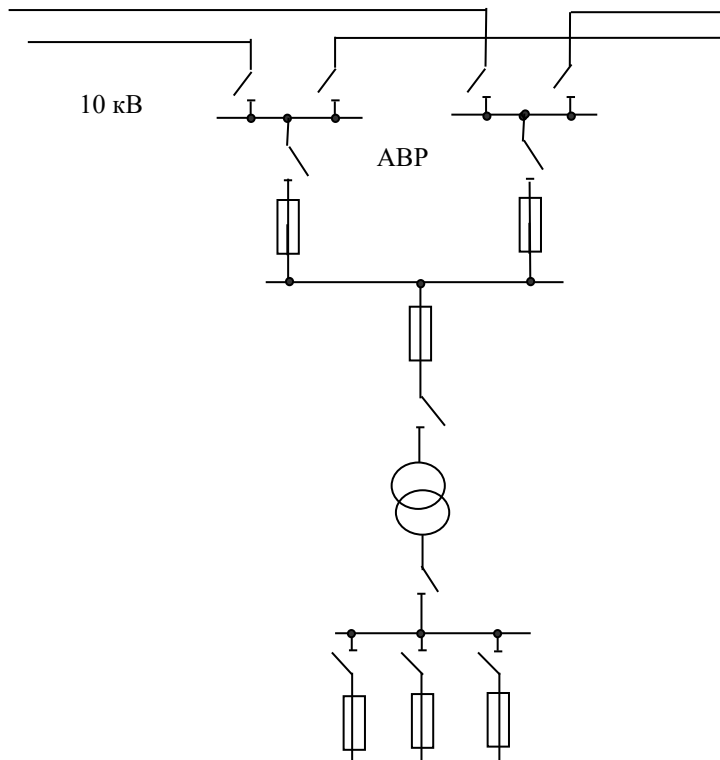


Рисунок 7.10 – Схема однострансформаторної ТП з АВР з боку 10 кВ із застосуванням вимикачів навантаження

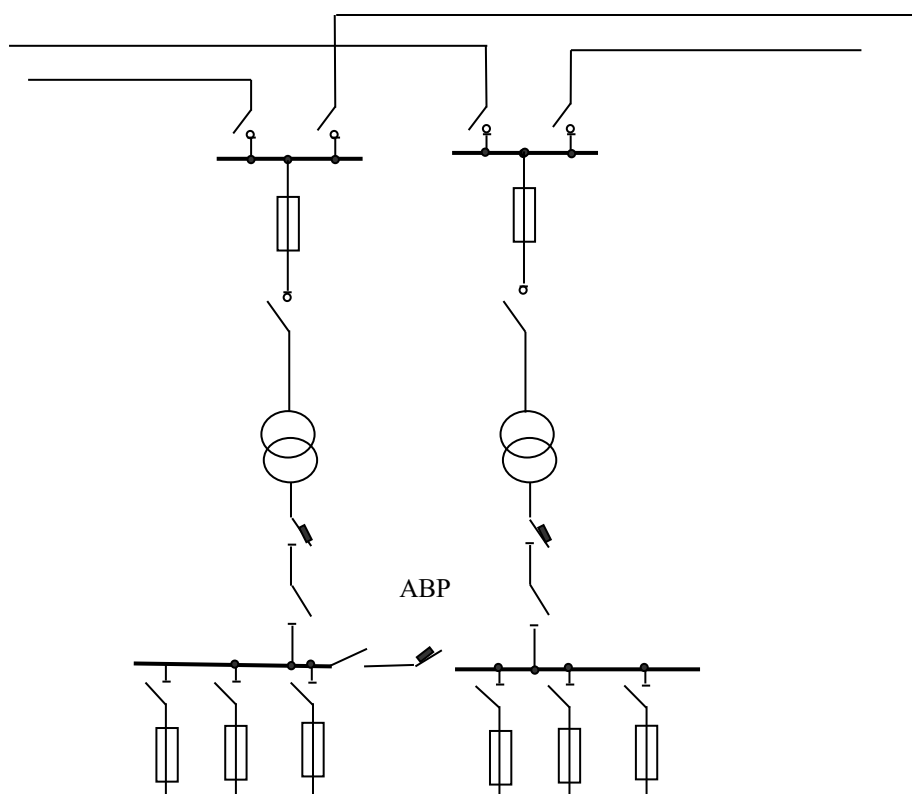


Рисунок 7.11 – Схема двотрансформаторної ТП з автоматизованим резервуванням з боку 10 кВ і з АВР з боку 0,4 кВ із застосуванням автоматичних вимикачів

Рекомендації.

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

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

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

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 здебільшого електроприймачі тільки другої і третьої категорій, на напрузі 10 кВ треба застосовувати петельну схему з однострансформаторними ТП.

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

Застосування трипрореневої (багатопрореневої) схеми рекомендується при реконструкції або будівництві нових міських електричних мереж, якщо вона може виявитися більш економічною, ніж двопроренева з двобічним живленням.

Для електропостачання районів міста з окремими ділянками, що мають велику кількість споживачів з електроприймачами першої категорії, на напрузі 10 кВ потрібно використовувати комбіновану петельно-двопрореневу схему з виконанням двопрореневої схеми з двотрансформаторними ТП на ділянках із великою кількістю споживачів, які мають електроприймачі першої категорії.

У випадку застосування на напрузі 10 кВ петельної схеми з однострансформаторними ТП для електропостачання споживачів, які мають електроприймачі другої і третьої категорій, мережу з напругою 0,4 кВ виконують за петельною схемою, якщо не потрібне роздільне живлення силового та освітлювального навантаження, і за двопрореневою схемою з одностороннім живленням, якщо потрібне роздільне живлення силового та освітлювального навантаження будинків.

Приєднання ліній петельної або двопрореневої схеми мережі на 0,4 кВ до різних ТП треба виконувати для живлення житлових і громадських будівель з електричними плитами, будинків із 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 петельній схемі з однострансформаторними ТП для електропостачання окремих споживачів, які мають електроприймачі першої категорії на напрузі 0,4 кВ, рекомендується застосування однієї з таких схем:

а) петельної або двопроменевої схеми з двобічним живленням від різних однострансформаторних ТП, підімкнених до різних напівпетель однієї лінії на 10 кВ або до різних магістралей на 10 кВ, з АВР безпосередньо в електроприймачі першої категорії;

б) петельної 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 на 0,4 кВ виконують за двопроменевою схемою з однобічним живленням від різних секцій однієї ТП.

7.3 Розрахунок розподільної електричної мережі на 10 кВ

Вибір перерізів дротів і кабелів із напругою вище 1 кВ виконують:

- за економічною щільністю струму в нормальному режимі;
- за припустимим тривалим струмовим навантаженням при нагріванні в нормальному і післяаварійному режимах;
- за припустимої втрати напруги в нормальному і післяаварійному режимах;
- за термічної стійкості при струмах короткого замикання, якщо кабельні лінії не захищені плавкими запобіжниками.

Економічний переріз жил кабелів розподільних ліній на 10 кВ розраховують для кожної ділянки за зазначеною вище формулою:

$$F_{к-м} = \frac{I_{р.к-м}}{J_{ек}}, \quad (7.7)$$

де $F_{к-м}$ – переріз ділянки розподільної мережі на 10 кВ, мм²;

$I_{p.k-m}$ – розрахунковий струм ділянки розподільної мережі на 10 кВ, А;

$J_{ек}$ – нормоване значення економічної щільності струму, А/мм², вибране за таблицею А.10 додатка А.

Переріз ділянок, отриманий в результаті розрахунку, необхідно округлити 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 міститься в межах одного ступеня за шкалою стандартних перерізів.

Розрахунок жил кабелів розподільної мережі на 10 кВ за припустимим тривалим струмовим навантаженням при нагріванні в нормальному режимі здійснюють за виразом

$$I_{p.k-m.норм.} / (K_k K_t K_c K_{nn}) \leq I_{прип.k-m}, \quad (7.8)$$

де $I_{p.k-m.норм.}$ – розрахунковий струм в нормальному режимі на ділянці, А;

$I_{прип.k-m}$ – припустиме тривале струмове навантаження жил кабелю ділянки, А;

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

K_t – поправний коефіцієнт на температуру землі (табл. А.15);

K_c – поправний коефіцієнт на питомий тепловий опір землі (табл. А.16);

K_{nn} – поправний коефіцієнт попереднього навантаження кабелю в нормальному режимі (табл. А.14).

У післяаварійному режимі

$$I_{p.k-m.авар.} / (K_k K_t K_c K_{kn}) \leq I_{прип.k-m}, \quad (7.9)$$

де K_{kn} – поправний коефіцієнт короточасного перевантаження в післяаварійному режимі (табл. А.14).

Припустимі тривалі струмові навантаження жил кабелів на 0,4–10 кВ $I_{прип.k-m}$ наведені в таблиці А.12 додатка А з розрахунку прокладання в землі на глибині 0,7–1,0 м не більше одного кабелю при температурі землі +15 °С і питомому тепловому опорі 120 см·К/Вт і прокладанні в повітрі при температурі

+25 °С. При цьому припустимі температури нагрівання жил кабелів з паперовою просоченою ізоляцією 0,4 кВ становить +80 °С, для напруги 10 кВ – +60 °С, кабелі с пластмасовою ізоляцією – +65 °С.

При температурі землі, що відрізняється від +15 °С, потрібно припустимі тривалі струми, вказані в таблиці А.12, змінювати шляхом введення поправного коефіцієнта K_t , значення якого наведені в таблиці А.15 додатка А.

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

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

Середньомісячна температура ґрунту на глибині прокладання кабелю для всіх районів України в осінньо-зимовий сезон становить 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

$$\Delta U_{нб} \leq \Delta U_{прип}, \quad (7.10)$$

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 на 10 кВ до найбільш

віддаленого ТП в нормальному режимі за відсутності живлячої мережі на 10 кВ, не повинна перевищувати 6 %, а за наявності живлячої мережі на 10 кВ – 4 %.

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

$$\Delta U_{нб} = \frac{1}{U_{ном}} \left(\sum_{k=1}^n P_k r_k + \sum_{k=1}^n Q_k x_k \right), \quad (7.11)$$

де $U_{ном}$ – номінальна напруга лінії, кВ;

P_k, Q_k – активна і реактивна потужність на k -ій ділянці лінії, кВт, кВАр;

r_k, x_k – активний і реактивний опір k -ої ділянки лінії з довжиною l_k , Ом;

$$r_k = r_0 l_k ; \quad x_k = x_0 l_k . \quad (7.12)$$

Активний r_0 та індуктивний x_0 опір кабелів наведені в таблиці А.17 додатка А.

Розрахунок розподільної мережі на 10 кВ за термічної стійкості при струмах короткого замикання та виконанні живильної мережі можна визначити за виразом

$$F_{мин} \geq \frac{I_{\infty}}{C} \sqrt{t_n} , \quad (7.13)$$

де I_{∞} – сталий струм короткого замикання, кА;

$F_{мин}$ – мінімально припустимий переріз жили кабелю, мм², за умови термічної стійкості при струмах к. з.;

$$C = 85-90; t_n = t_3 + t_{отк} = 0,2-0,6 \text{ с};$$

де t_3 – час спрацьовування захисту;

$t_{отк}$ – час спрацьовування вимикачів, що дорівнює 0,1–0,2 с.

Приклад. Розрахувати петельну схему мережі на 10 кВ, якщо відоме навантаження з боку 10 кВ міських трансформаторних підстанцій відповідно до такої схеми (рис.7.12).

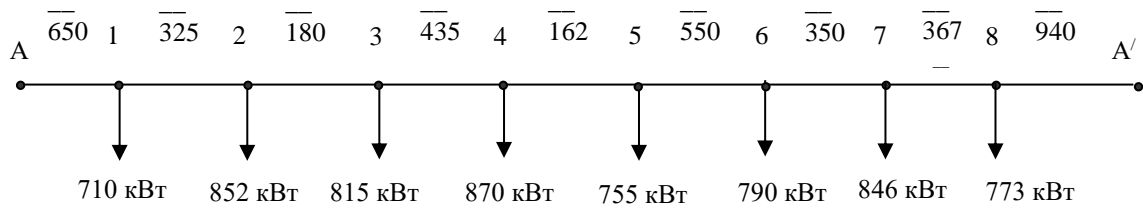


Рисунок 7.12 – Розрахункова схема до прикладу
(відстань між підстанціями задана в метрах)

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

$$I_{III} = \frac{S_{III} K_{III}}{\sqrt{3}U}, \quad (7.14)$$

де $K_{III} = 1,038$ – коефіцієнт втрат енергії на трансформаторній підстанції;

S_{III} – навантаження трансформаторної підстанції;

$U = 10$ кВ – напруга розподільної мережі.

Оскільки в умові прикладу навантаження надане з боку 10 кВ, то струм, що споживається першою трансформаторною підстанцією, визначається так:

$$I_{III} = \frac{S_{III}}{\sqrt{3}U} = \frac{771,6}{\sqrt{3} \cdot 10} = 44,6 \text{ А} . \quad (7.15)$$

Аналогічно знаходимо струм на всіх підстанціях, і тоді розрахункова схема й вихідні дані матимуть такий вигляд (рис.7.13).

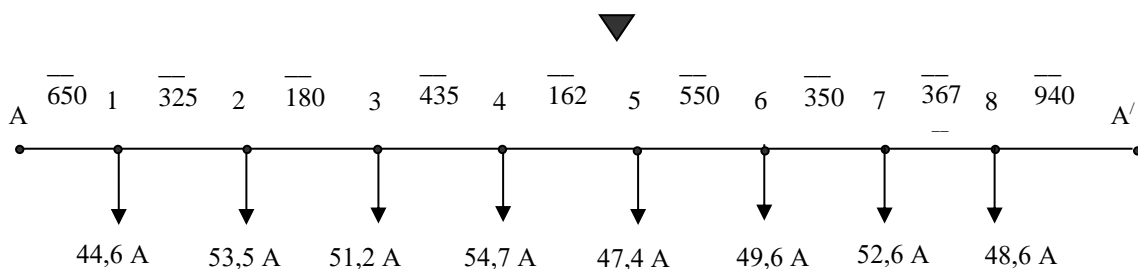


Рисунок 7.13 – Перетворена розрахункова схема

Струм на головній ділянці визначається так:

$$I_{ПА} = \frac{\sum I_m l_m}{l_{\Sigma}}, \quad (7.16)$$

де l_m – довжина протилежних плечей, м;

l_{Σ} – сумарна довжина всіх ділянок, м;

I_m – значення струму відповідної підстанції, А.

Для наведеного прикладу значення струму на головній ділянці I_A знаходимо так:

$$I_A = \frac{44,6 \cdot 3309 + 53,5 \cdot 2984 + 51,2 \cdot 2804 + 54,7 \cdot 2369 + 47,4 \cdot 2207 + 49,6 \cdot 1657 + 52,6 \cdot 1307 + 48,6 \cdot 940}{3959} = 222,7 \text{ А.}$$

Струм на головній ділянці $I_{A'}$:

$$I_{A'} = \frac{48,6 \cdot 3019 + 52,6 \cdot 2652 + 49,6 \cdot 2302 + 47,4 \cdot 1752 + 54,7 \cdot 1590 + 51,2 \cdot 1155 + 53,5 \cdot 975 + 44,6 \cdot 650}{3959} = 179,5 \text{ А.}$$

Знаходимо струми на ділянках мережі:

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

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

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

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

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

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

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

Точка поточкорозділу розміщується на підстанції 5. Найменше значення струму на ділянці 5–4, тому в нормальному режимі роз'єднувач встановлюється на цій ділянці, а тоді уточнюємо розподіл струмів по ділянках (рис. 7.14).

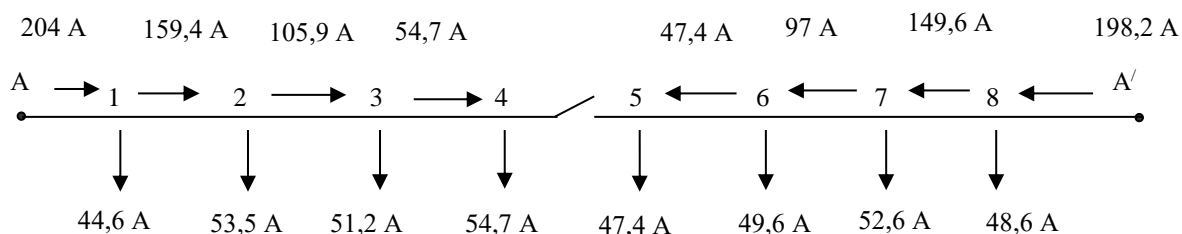


Рисунок 7.14 – Розподіл струму навантаження в нормальному режимі

Переріз кабелю 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 найвіддаленішої точки ділянок мережі в нормальному і аварійному режимах.

Визначаємо економічно вигідний переріз для ділянки мережі А–1 за виразом (7.7):

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

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

За таблицю А.12 додатка А вибираємо переріз 150 мм^2 . Для цього перерізу кабелю припустимий струм дорівнює $I_{прип.А-1} = 275 \text{ А}$.

Перевіряємо переріз за умовами нагрівання в нормальному режимі за виразом (7.8):

$$I_{p.к-м.норм.} / (K_{к} K_t K_c K_{пн}) \leq I_{прип.к-м}, ;$$

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

$$245 \leq 275.$$

У нормальному режимі умова задовольняється. Залишаємо вибраний переріз для перевірки його в післяаварійному режимі. У післяаварійному режимі живлення всіх підстанцій здійснюється за такою схемою (рис. 7.15).

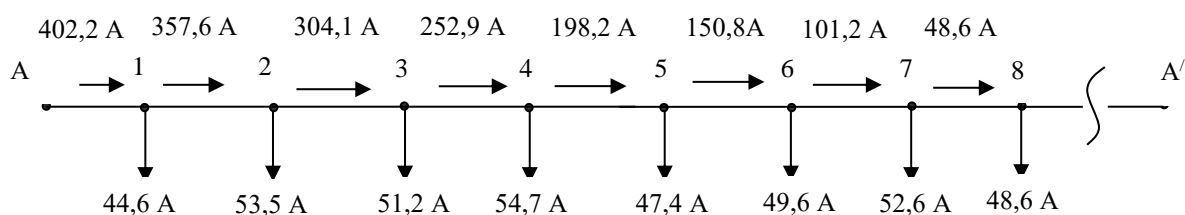


Рисунок 7.15 – Схема живлення підстанцій в післяаварійному режимі при живленні від точки А

Відповідно до цього, $I_{p.A-1.авар} = 402,2 \text{ А}$, тоді за виразом (7.9)

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

$297,5 \leq 275$ – це не збігається з умовою, тому підвищуємо переріз кабелю на один щабель $F = 185 \text{ мм}^2$, а припустимий струм для цього кабелю $I_{прп.А-1} = 310 \text{ А}$. Тоді за формулою (7.9) 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 кабелю на всіх ділянках мережі й заносимо в таблицю 7.1. Для перевірки кабелю в післяаварійному режимі при живленні від точки А' схема живлення міських ТП матиме такий вигляд (рис. 7.16).

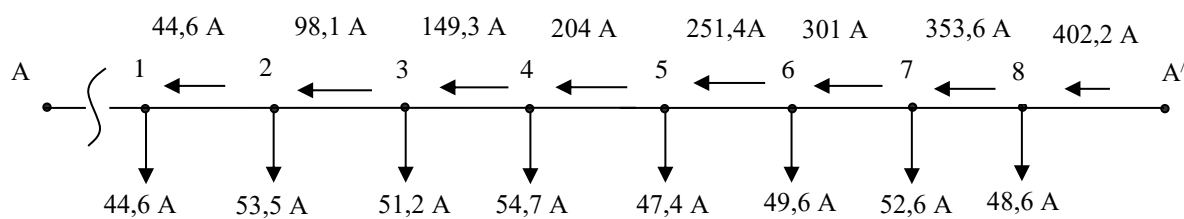


Рисунок 7.16 – Схема живлення підстанцій в післяаварійному режимі при живленні від точки А

Проводимо аналогічні розрахунки. Як і при першому аварійному режимі, результати їх зводимо в таблицю 7.1. Якщо на будь-якій ділянці мережі кабель за припустимим струмом на нагрівання в післяаварійному режимі не проходить, то збільшуємо переріз кабелю на одну або дві щабели залежно від потреби й записуємо в таблицю 7.1.

При виборі перерізу кабелю на ділянці 4–5, де в нормальному режимі струм відсутній, потрібно скористатися струмами післяаварійного режиму. В першому аварійному режимі струм на цій ділянці дорівнює 204 А, а в другому – 198,2 (див. табл. 7.1). Виходячи з найбільш важкого першого аварійного режиму для цієї ділянки, обираємо струм 204 А. За виразом (7.9) обираємо припустимий струм кабелю, що задовольняє таку умову:

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

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

Перевіряємо обраний переріз кабелів за втратами напруги в нормальному і післяаварійному режимах. Виразивши через струми рівняння (7.11), можна представити втрати напруги у відсотках від номінальної напруги за формулою

$$\Delta U\% = \sqrt{3}(IR_{\ell} \cos \varphi + IX_{\ell} \sin \varphi)100 / U_n . \quad (7.17)$$

Перевіряємо переріз вибраного кабелю за втратами напруги в нормальному режимі, попередньо визначивши активний і реактивний опір ділянок мережі та записавши їх значення в таблицю 7.1:

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

Аналогічно проводимо розрахунки для інших ділянок, результати вносимо в таблицю 7.1. Таким же чином здійснюємо розрахунки і для двох післяаварійних режимів, як це показано в таблиці 7.1.

Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок про те, що втрати напруги як в нормальному, так і в післяаварійному режимах не перевищують припустимих значень. Отже, обрані перерізи кабелів задовольняють вимоги 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:

$$\Delta P = I_{p,нор}^2 Rn_{каб} \quad (7.18)$$

Розрахуємо ΔP на ділянці А–1:

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

Таблиця 7.1 – Розрахункові дані для розподільної мережі на 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 $I_{p,к-н.норм}$, А	204,0	159,4	105,9	54,7	–	47,4	97,0	149,6	198,2
Розрахунковий переріз кабелю $F_{ек}$, мм ²	145,7	113,9	75,6	39,0	–	33,9	69,3	106,9	141,6
Переріз за ДСТУ, мм ²	150	120	95	50	–	35	70	120	150

Продовження таблиці 7.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Припустимий струм кабелю, $I_{нрпн}, A$	275	240	205	140	–	115	165	240	275
Припустимий струм кабелю з урахуванням поправних коефіцієнтів в нормальному режимі, $(K_k K_t K_c K_{лн}) I_{нрпн}, A$	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 $I_{р.к-м.авар.}, A$	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' $I_{р.к-м.авар.}, A$	–	44,6	98,1	149,3	204	251,4	301	353,6	402,2
Припустимий струм кабелю з урахуванням поправних коефіцієнтів в післяаварійному режимі, $(K_k K_t K_c K_{кп}) I_{нрпн}, A$	371,8	324,5	277,2	189,3	–	155,5	223,1	324,5	371,8
Уточнений переріз кабелю, мм ²	185	150	120	95	70	95	120	150	185
Припустимий струм кабелю, $I_{нрпн}, A$	310	275	240	205	165	205	240	275	310
Припустимий струм кабелю з урахуванням поправних коефіцієнтів в післяаварійному режимі, $(K_k K_t K_c K_{кп}) I_{нрпн}, A$	419,0	371,8	324,5	277,2	223,1	277,2	324,5	371,8	419,0
Активний опір кабелю по ділянках, Ом	0,109	0,066	0,045	0,142	0,073	0,179	0,09	0,076	0,157
Реактивний опір кабелю 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, $\Delta U^n, \%$	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 післяаварійному режимі при живленні від точки А $\Delta U^A, \%$	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' $\Delta U^A, \%$	–	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							
$\Delta P, \text{кВт}$	27,2	10,1	3,0	2,5	–	2,4	5,1	10,2	37,0

7.4 Розрахунок розподільної електричної мережі на 0,4 кВ

Перерізи жил кабелів розподільних мереж на 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 із середніх значень граничних втрат напруги в нормальному режимі в мережах на 0,4 кВ (від ТП до введів у будівлю) не більше ніж 4 % і здійснюють за формулою

$$F = \frac{10^5}{\gamma \Delta U_{\text{прин}} U_n^2 n_k} \sum PL, \quad (7.19)$$

де γ – питома провідність алюмінію, $\gamma = 32$ м/Ом·мм²;

$\Delta U_{\text{прин}}$ – 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 кабелю здійснюють за виразами (7.8) – (7.9).

За припустимою втратою напруги кабель можна перевірити за формулою

$$\Delta U\% = \frac{10^5}{\gamma F U_n^2 n_k} \sum PL. \quad (7.20)$$

Приклад. Розрахувати розподільну мережу на 0,4 кВ, якщо відоме навантаження житлових будинків і схема підімкнення відповідно до рисунка 7.17.

Розв’язання. Робимо попередній вибір перерізу кабелю за формулою (7.17) для ділянок розподільної мережі на 0,4 кВ:

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

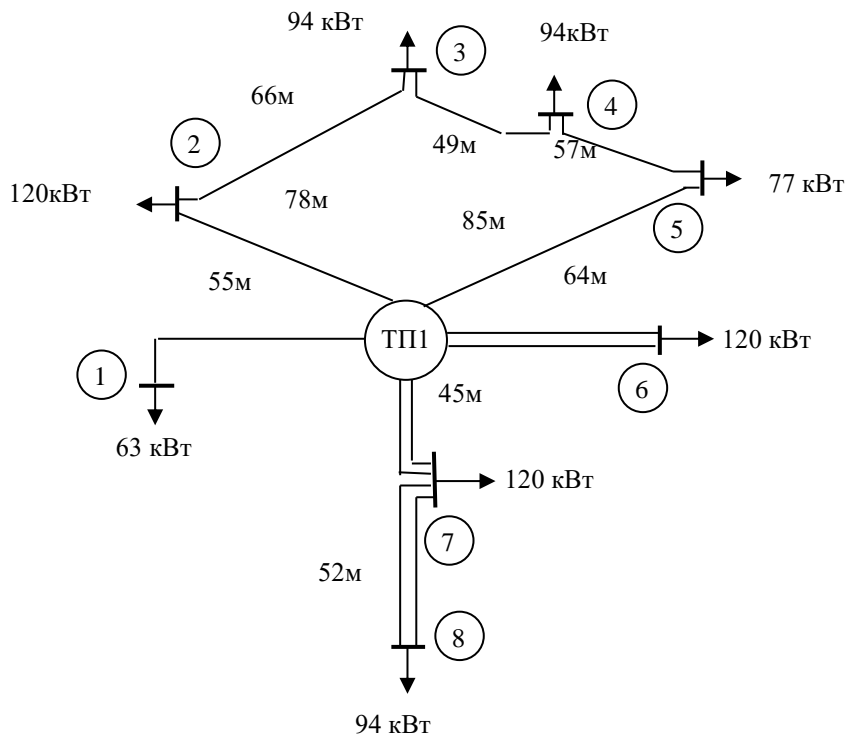


Рисунок 7.17 – Схема розподільної мережі на 0,4 кВ

За таблицю А.12 додатку А приймаємо переріз кабелю 25 мм².

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

За таблицю А.12 додатку А приймаємо переріз кабелю 2 мм × 25 мм².

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

За таблицю А.12 додатку А приймаємо переріз кабелю 2 мм × 50 мм².

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

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

Визначаємо переріз кабелю 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 кабелю за таблицю А.12 додатку А 2 мм × 35 мм².

Для електричної мережі, виконаної за петельною схемою, потрібно, як і в попередньому розділі, визначити потік потужності по ділянках і точку поточкорозділу (рис. 7.18).

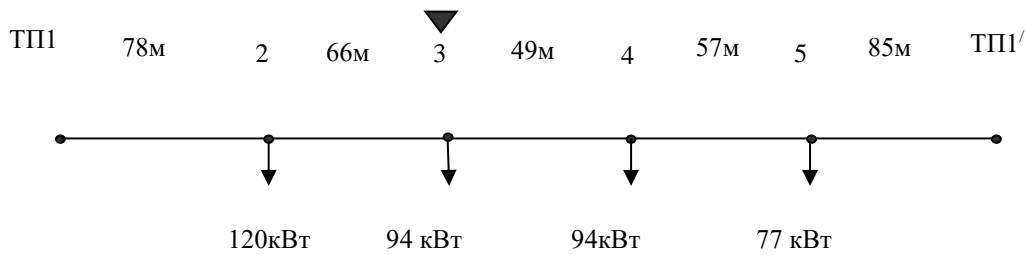


Рисунок 7.18 – Петельна схема розподільної мережі на 0,4 кВ міської підстанції

Визначимо потік потужності на головних ділянках і розподілимо його по ділянках розподільної мережі:

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

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

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

$$P_{4-5} = 180 - 77 = 103 \text{ кВт};$$

$$P_{3-4} = 103 - 94 = 9 \text{ кВт};$$

Ділянка 3–4 має мінімальний потік потужності, тому на цій ділянці і встановлюється розрив (рис. 7.19).

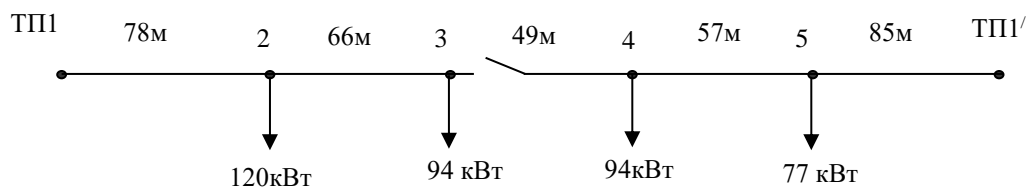


Рисунок 7.19 – Розподільна мережа на 0,4 кВ в нормальному режимі

У нормальному режимі потоки потужності розподіляться по ділянках так:

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

$$P_{2-3} = 94 \text{ кВт};$$

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

$$P_{4-5} = 94 \text{ кВт}.$$

Попередньо визначаємо переріз кабелів:

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

Приймаємо переріз кабелю за таблицею А.12 додатку А 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 кабелю 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 таблицею А.12 додатку А 95 мм².

Переріз кабелю на ділянці ТП1 – 5:

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

Приймаємо переріз кабелю за таблицею А.12 додатку А 120 мм².

Визначаємо втрати напруги на ділянці ТП1 – 5:

$$\Delta U\% = \frac{10^5}{\gamma F U_n^2} \sum PL = \frac{10^5}{32 \cdot 120 \cdot 380^2} \cdot 21485 = 3,28 \%$$

Переріз 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 таблицею А.12 додатку А 185 мм².

Отримані результати зводимо в таблицю 7.2.

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

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} U_n \cos \varphi}. \quad (7.21)$$

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 7.2. Визначаючи розрахунковий струм кабелю в нормальному режимі для ділянки ТП1–6, що містить два кабелі, за виразом (7.20) можна записати така:

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

Припустимий струм кабелю в нормальному режимі визначаємо за виразом

$$I_{дон}^H = (K_K K_t K_c K_{nn}) I_{нрпн}. \quad (7.22)$$

Для ділянки ТП1 – 1: $I_{nprun}^H = (1,0 \cdot 1,04 \cdot 1,0 \cdot 0,8)106 = 88,2 \text{ A}$.

Визначаємо аналогічно для інших ділянок і результати вносимо в таблицю 7.2.

Припустимий струм кабелю після аварійного режиму знаходимо за виразом

$$I_{доп}^{ПА} = (K_K K_t K_c K_{kn}) I_{nprun}. \quad (7.23)$$

Визначаємо припустимий струм кабелю після аварійного режиму для ділянки ТП1 – 6: $I_{nprun}^{ПА} = (1,0 \cdot 1,04 \cdot 1,0 \cdot 1,3)106 = 143,3 \text{ A}$.

Визначаємо струм аналогічно для інших ділянок і результати вносимо в таблицю 7.2.

При визначенні розрахункового струму кабелю після аварійного режиму по ділянці мережі ТП1 – 6 скористаємось формулою

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

Якщо попередньо обраний кабель (за припустимою втратою напруги) не проходить після аварійного режиму, то переріз кабелю уточнюється в бік збільшення на один щабель або більше залежно від розрахункового струму після аварійного режиму. Далі, як і на початку розрахунку, проводимо порівняльний аналіз. Усі результати розрахунків також зводимо в таблицю 7.2. На ділянках ТП1–2, ТП1–5, 4–5 після аварійного режиму струми значно перевищують припустимі струми кабелю максимального перерізу, тому на цих ділянках використовуємо на лінії два кабелі. Після кінцевого вибору кабелю перевіряємо розподільну мережу на 0,4 кВ за втратою напруги.

Для ділянки ТП1 – 1 втрата напруги в нормальному режимі

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

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 режимах для всіх ділянок і визначаємо сумарні втрати по мережі до найвіддаленішої точки. Результати розрахунків зводимо в таблицю 7.2.

При розрахунку петельної схеми в післяаварійному режимі потрібно враховувати два випадки: живлення всіх електроприймачів по ділянках ТП1-1 і живлення по ділянці ТП1-5

Таблиця 7.2 – Розрахункові дані по розподільній мережі на 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 кабелю, мм ²	18,7	20,8 × 2	39,2 × 2	27,5 × 2	124	84,4	–	107,6	161,0
Прийнятий перетин, мм ²	25	2 × 25	2 × 50	2 × 35	150	95	–	120	185
Розрахунковий струм кабелю в нормальному режимі, А	104,2	99,2	176,9	77,7	353,8	155,4	–	282,7	155,4
Припустимий струм кабелю $I_{прп}$, А	106	106	161	129	308	235	–	271	354
Припустимий струм кабелю з урахуванням поправних коефіцієнтів в нормальному режимі, $(K_k K_t K_c K_{kn}) I_{прп}$, 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 петельної 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 петельної схеми), А	–	198,4	353,8	155,4	–	198,4	353,8	636,0	509,3
Припустимий струм кабелю з урахуванням поправних коефіцієнтів у післяаварійному режимі $(K_k K_t K_c K_{kn}) I_{прп}$, А	–	143,3	217,7	174,4	416,4	317,7	366,4	366,4	478,6
Уточнення перерізу кабелю, мм ²	25	2 × 50	2 × 120	2 × 35	2 × 95	185	120	2 × 95	2 × 70
Припустимий струм кабелю, $I_{прп}$, А	106	161	271	129	235	354	271	235	193
Припустимий струм кабелю з урахуванням поправних коефіцієнтів у післяаварійному режимі $(K_k K_t K_c K_{kn}) I_{прп}$, А	–	217,7	366,4	174,4	317,7	478,6	366,4	317,7	260,9
Втрата напруги в нормальному режимі, ΔU^H , %	3,0	3,3	0,87	1,5	1,9	0,73	–	1,66	0,83
Сумарні втрати до віддаленої точки в нормальному режимі $\sum \Delta U^H$, %	3,0	3,3		2,37		2,63	–		2,49

Продовження таблиці 7.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Втрата напруги у післяаварійному режимі (при живленні по ділянці ТП1-2 для петельної 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 петельної 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 петельної 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 петельної схеми) $\sum \Delta U^A$, %	–	6,6		$0,87 + 3,0 = 3,87$		9,26			
ΔP , кВт									

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шкрабець Ф. П. Електропостачання : навч. посіб. / Ф. П. Шкрабець ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Дніпро : НГУ, 2015. – 540 с. – Існує електрон. версія. (Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/132413036.pdf>, вільний).
2. Василега П. О. Електропостачання : підручник / П. О. Василега. – Суми : СумДУ, 2019. – 521 с – Існує електрон. версія. (Режим доступу: <https://www.essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/72467>, вільний).
3. Бурбело М. Й. Системи електропостачання. Елементи теорії та приклади розрахунків : навч. посіб. / М. Й. Бурбело, О. О. Бірюков, Л. М. Мельничук. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 204 с. – Існує електрон. версія. Режим доступу: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/11784/Burbelo%20Elektropostachannya%202012.pdf?sequence=1>, вільний).
4. Автоматизація керування режимами міських електричних мереж : монографія / П. П. Говоров, В. Ф. Харченко, В. П. Говоров ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 229 с. – Існує електрон. версія. (Режим доступу: https://eprints.kname.edu.ua/46992/1/%D0%9F%D0%95%D0%A7_2013%2011%D0%9C%D0%9D%20%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F.pdf, вільний).
5. Харченко В. Ф. Електропостачання міст та промислових підприємств : конспект лекцій для студентів усіх форм навчання галузі знань 14 – Електрична інженерія, спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, професійне спрямування «Електротехнічні системи електроспоживання») / В. Ф. Харченко, О. А. Якунін, В. Г. Воропай ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 241 с. – Існує електрон. версія. (Режим доступу: <https://eprints.kname.edu.ua/52143/>, вільний).
6. 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 2010–10–01. – Київ : Державний комітет України з будівництва та архітектури, 2010. – 104 с.

7. ДСТУ-Н Б В.2.5.-80:2015. Настанова з проектування систем електропостачання промислових підприємств. – Уведено вперше ; чинний від 2015–10–28. – Київ : Мінрегіон України, 2016. – 79 с.

8. Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне ; чинний від 21.07.2017. – Київ : Міненерговугілля України, 2017. – 617 с.

ДОДАТОК А

Табличні дані

Таблиця А.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 А.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	
3 плити 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	
3 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 електроводопідігрівальних 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 А.3 – Коефіцієнти попиту для ліфтових установок

Кількість ліфтових установок	$K_{\text{попит.л}}$ 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 і більше	0,35	0,40

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

Таблиця А.4 – Значення коефіцієнта попиту $K_{\text{попит.сан}}$ для сантехнічних установок

Питома вага встановленої потужності працюючого сантехнічного і холодильного обладнання, включаючи системи кондиціонування повітря, в загальній встановленій потужності працюючих силових електроприймачів, %	$K_{\text{попит.сан}}$ 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 одиначної потужності понад 30 кВт.
 Примітка 3. Коефіцієнт попиту для кількості приєднаних електроприймачів, не вказаних в таблиці, визначається інтерполяцією.

Таблиця А.5 — Питомі розрахункові навантаження вуличного освітлення

Категорія вулиць і доріг	Характеристика	Найбільша інтенсивність руху в обох напрямках, Од./год	Питоме навантаження, кВт/км
А	Магістральні вулиці загальноміського значення, швидкісні дороги	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 А.6 – Коефіцієнти участі в максимумі навантаження

Назва споруди (помешкання) найбільшого розрахункового навантаження	Житлові будинки з електроплитами	Житлові будинки з газовими плитами або на твердому паливі	Установи громадського харчування – їдальні	Установи громадського харчування – ресторани і кафе	Середні навчальні заклади	Загальноосвітні школи, ПТУ	Установи адміністративно-управлінські, фінансові, проектно-конструкторські	Торговельні підприємства однозмішні	Торговельні підприємства півтора- й двозмішні	Готелі	Перукарні	Дошкільні дитячі заклади	Поліклініки	Комбінати побутового обслуговування, ательє	Підприємства комунального обслуговування	Культові, видовищні установи, кінотеатри
Житлові будинки з електроплитами	–	0,9	0,6	0,7	0,6	0,4	0,6	0,6	0,8	0,7	0,8	0,4	0,7	0,6	0,7	0,9
Житлові будинки з газовими плитами або на твердому паливі	0,9	–	0,6	0,7	0,5	0,3	0,4	0,5	0,8	0,7	0,7	0,4	0,6	0,5	0,5	0,9
Підприємства громадського харчування (їдальні, ресторани, кафе)	0,4	0,4	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,5
Школи, середні навчальні заклади, ПТУ, бібліотеки	0,5	0,4	0,8	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
Торговельні підприємства одно-, півтори-, двозмішні	0,5	0,4	0,8	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
Установи управління, фінансові, адміністративні будівлі підприємств і проектно-конструкторські організації	0,5	0,4	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,5
Готелі	0,8	0,8	0,6	0,8	0,4	0,3	0,6 ¹	0,6	0,8	0,8	0,8	0,4	0,7	0,5	0,7	0,9
Поліклініки	0,5	0,4	0,8	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
Ательє і комбінати побутового обслуговування	0,5	0,4	0,8	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
Культові, видовищні установи, кінотеатри	0,9	0,9	0,4	0,6	0,3	0,2	0,2	0,8	0,7	0,7	0,8	0,2	0,4	0,4	0,5	

Примітка. Якщо від ТП живляться декілька споживачів з рівними або близькими до рівних навантаженнями, розрахунок потрібно виконувати відносно того навантаження, при якому P_{\max} виходить найбільшим.

Таблиця А.7 – Значення розрахункових коефіцієнтів потужності

Лінія живлення	Розрахункові коефіцієнти	
	потужності ($\cos \varphi$)	реактивного навантаження, $\operatorname{tg} \varphi$
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 А.8 – Номінальні потужності ліфтів

№ п/п	Кількість поверхів будівлі	Кількість ліфтів в одній секції	Номінальна потужність двигунів, кВт
1	6–9	1	7
2	12	2	7; 11
3	16	2	11
4	20–25	2-3	7; 11–15

Таблиця А.9 – Коефіцієнти суміщення максимуму навантаження ТП, що живляться від певного РП

№ п/п	Кількість ТП	Коефіцієнт суміщення
1	3–5	0,90
2	6–10	0,80
3	11–20	0,75
4	21 і більше	0,70

Таблиця А.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 жилами	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 жилами	1,9	1,7	1,6

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

Об'єкти масового будівництва	Одиниці виміру	Питоме навантаження	Розрахункові коефіцієнти	
			потужність ($\cos \varphi$)	реактивне навантаження ($\operatorname{tg} \varphi$)
1	2	3	4	5
Підприємства громадського харчування:				
а) повністю електрифіковані з кількістю місць до 500 включно;	кВт на місце	1,03	0,98	0,20
б) з кількістю місць більше ніж 500 до 1 000 включно;		0,85	0,98	0,20
в) з кількістю місць більше ніж 1 000;		0,75 0,80	0,98 0,95	0,20 0,33
г) частково електрифіковані (з плитами на газоподібному паливі) з кількістю місць до 500 включно;				
д) з кількістю місць більше ніж 500 до 1 000 включно		0,70	0,95	0,33
е) з кількістю місць більше ніж 1 000	0,60	0,95	0,33	
Підприємства роздрібною торгівлі:				
а) продовольчі без кондиціонування повітря;	кВт на м торг. залу	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:				
а) з електрифікованими їдальнями і спортзалами;	кВт на одного учня	0,25	0,95	.1 0,33
б) без електрифікованих їдалень, 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:				
а) з електрифікованими кухнями;	кВт на місце	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 місце	2,20	0,93	0,40
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 багатопрофільні 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 без кондиціонування повітря	кВт на місце	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:				
а) без приготування ліків;	кВт на м ² торг. залу	0,12	0,93	0,40
б) з приготуванням ліків				
Кінотеатри та кіноконцертні зали:				
а) з кондиціонуванням повітря;	кВт на місце	0,15	0,92	0,43
б) без кондиціонування повітря				
Театри й цирку	кВт на місце	0,35	0,9	0,48
Палаці культури, клуби	кВт на місце	0,45	0,92	0,43

Продовження таблиця А.11

1	2	3	4	5
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:				
а) з електроплитами на кухнях;	кВт на місце	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 їдалень):	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 їдалень):	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-бокси;		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 їдалень закритого типу та ресторанів не врахована. За необхідності її потрібно 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 А.12 – Припустимі тривалі струмові навантаження (А) на кабелі з мідними (чисельник) та алюмінієвими (знаменник) жилами, із паперовою просоченою маслосланцювою та нестікаючою ізоляцією у свинцевій або алюмінієвій оболонці

Переріз, мм ²	При прокладанні у повітрі					При прокладанні в землі				
	Двожилінні до 1 кВ	трижилінні			Чотирьох-жилінні до 1 кВ	Двожилінні до 1 кВ	трижилінні			Чотирьох-жилінні до 1 кВ
		до 3 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 А.13 – Поправні коефіцієнти на кількість працюючих кабелів, що лежать поряд у 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 А.14 – Припустиме короткочасне перевантаження для кабелів із напругою до 10 кВ з паперовою просоченою ізоляцією

Коефіцієнт попереднього навантаження	Вид прокладання	Припустиме перевантаження відносно номінального, 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 А.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 А.16 – Поправний коефіцієнт K_c на питомий тепловий опір землі

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

Таблиця А.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	0,05 6	0,077
240	0,129	0,058 7	0,075

Таблиця А.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-жильні до 1 кВ	3-жильні до 10 кВ	4-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 А.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-ти 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

Електронне навчальне видання

Методичні рекомендації
до виконання курсової роботи

«Електропостачання міст та промислових підприємств»

з курсу

«ЕЛЕКТРОПОСТАЧАЮЧА МІСТ ТА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ»

(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної, заочної та дистанційної форм навчання за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітньо-професійна програма «Електротехнічні системи електроживлення»)

Укладач **ХАРЧЕНКО** Віктор Федорович

Відповідальний за випуск *В. Є. Плюгін*

Редактор *О. А. Норик*

Комп'ютерне верстання *Т. Ю. Четверікова*

План 2024, поз. 270М

Підп. до друку 18.11.2024. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 3,8.

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