

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ КУРСОВИЙ ПРОЄКТ

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для студентів,
які навчаються за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»,
освітньою програмою «Енергетичний менеджмент та енергоефективні
технології»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2021

Системи електропостачання: Курсовий проєкт [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітньої програми «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: В. А. Попов, А. І. Замулко, В. В. Ткаченко, М. М. Федосенко, О. С. Ярмолук. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,30 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 92 с.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 2 від 09.12.2021 р.)
за поданням Вченої ради інституту (протокол № 2 від 27.09.2021 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

КУРСОВИЙ ПРОЄКТ

Укладачі: *Попов Володимир Андрійович, д-р техн. наук, проф.
Замулко Анатолій Ігорович, канд. техн. наук, доц.
Ткаченко Вадим Владиславович, канд. техн. наук, доц.
Федосенко Микола Миколайович, канд. техн. наук, доц.
Ярмолук Олена Сергіївна, канд. техн. наук, доц.*

Відповідальний редактор *Веремійчук, Ю.А., канд. техн. наук, доц.*

Рецензенти: *Босак, А.В., канд. техн. наук, доц.*

Курсовий проєкт – це невід’ємна та важлива частина навчального процесу у вищих навчальних закладах, головною метою якого є набуття студентами навичок самостійної роботи щодо вирішення питань як теоретичного, так і практичного спрямування. Виконання курсового проєкту включає наступні питання: розрахунок навантажень промислових і комунально-побутових споживачів, вибору за діючими нормами відповідного перерізу ліній низької та середньої напруг, розрахунок навантаження живлячої підстанції та перевірки можливості використання трансформатору заданої потужності при відомому добовому графіку навантаження, визначення втрат електричної енергії різними методами та їх порівняння між собою, компенсації реактивної потужності, є актуальною й необхідною для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітньої програми «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології» для вирішення завдань проєктування сучасних електропостачальних систем, таким чином, щоб забезпечити їх економічність, енергетичну ефективність, надійність.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП	6
1 ЗАВДАННЯ ТА ПОЧАТКОВІ ДАНІ.....	7
1.1. Завдання.....	7
1.2 Початкові дані.....	12
2 ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	24
2.1 Структура записки.....	24
2.2 Комплектація записки	25
3 ВИМОГИ ДО СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАПИСКИ.....	26
3.1 Зміст	26
3.2 Вступ	26
3.3 Основна частина	26
3.4 Додатки	27
4 ОФОРМЛЕННЯ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ.....	28
4.1 Загальні вимоги.....	28
4.2 Мова	31
4.3 Вимоги до тексту	31
4.4 Оформлення структурних елементів	32
4.5 Нумерація сторінок записки	32
4.6 Нумерація розділів, підрозділів, пунктів, підпунктів	33
4.7 Ілюстрації.....	33
4.8 Таблиці.....	35
4.9 Переліки.....	38
4.10 Примітки.....	38
4.11 Формули та рівняння.....	39
4.12 Оформлення переліку джерел посилання	41
4.13 Посилання.....	42

	4
4.14 Оформлення додатків	43
4.15 Скорочення та власні назви	44
4.16 Числа та знаки	45
5 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ	47
5.1 Розрахунок електричних навантажень	47
5.1.1 Розрахунок електричних навантажень цеху промислового об'єкту	47
5.1.2 Розрахунок електричних навантажень житлових і громадських будинків	57
5.1.3 Визначення розрахункових навантажень на вищих ієрархічних рівнях систем електропостачання	64
5.2 Вибір розподільних трансформаторів	65
5.2.1 Вибір цехових трансформаторів промислових підприємств	65
5.2.2 Вибір розподільних трансформаторів для району міста	68
5.2.3 Вибір відгалужень розподільних трансформаторів	69
5.3 Вибір провідників	71
5.4 Розрахунок технічних втрат електричної енергії в елементах систем електропостачання	81
5.4.1 Метод поелементних розрахунків	81
5.4.2 Метод середніх навантажень	83
5.4.3 Метод кількості годин найбільших втрат	86
Додаток А Титульний аркуш та бланк завдання до курсового проєкту	88
Додаток Б Приклад оформлення змісту	91
Додаток В Приклад оформлення переліку джерел посилання	92

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

в.о. – відносні одиниці;

ГПП – головна понижувальна підстанція;

ЕН – електричне навантаження;

ЕП – електроприймач;

КБ – конденсаторна батарея;

КЗ – коротке замикання;

КЛ – кабельна лінія;

КРП – комплектний розподільний пункт;

НН – низька напруга;

РП – розподільний пункт;

СЕП – системи електропостачання;

СП – силовий пункт;

ЩО – щит освітлення.

ВСТУП

Курсове проектування – це невід’ємна та важлива частина навчального процесу у вищих навчальних закладах, головною метою якого є набуття студентами навичок самостійної роботи щодо вирішення питань як теоретичного, так і практичного спрямування.

Методичні вказівки призначені для систематизації та викладення основних вимог щодо виконання й оформлення курсових проєктів (робіт), які ґрунтуються на існуючих нормативних матеріалах і галузевих стандартах.

Курсовий проєкт – це атестаційна робота студентів вищих навчальних закладів з дисципліни, що передбачена навчальним планом і який складається з пояснювальної записки та графічної частини.

Курсовий проєкт є завершальним етапом вивчення дисципліни «Системи електропостачання», який спрямовано на систематизацію та розширення студентами теоретичних знань й практичних навичок, розвиток аналітичного та творчого мислення, виконання розрахункових і графічних робіт, а також закріплення навичок використання сучасної обчислювальної техніки.

1 ЗАВДАННЯ ТА ПОЧАТКОВІ ДАНІ

Варіант завдання видається студенту викладачем-консультантом і складається з двох цифр «Х-Х». *Перша* цифра відповідає номеру розрахункової схеми системи електропостачання (цифра «1» – рис. 1.1, цифра «2» – рис. 1.2), друга цифра – безпосередньо номер варіанту (таблиці 1.1–1.14).

1.1. Завдання

Для заданої системи електропостачання (СЕП), схему якої наведено на рис. 1.1 (перша цифра варіанту – «1») та рис. 1.2 (перша цифра варіанту – «2»), визначити розрахункові електричні навантаження, обґрунтувати розміщення (окремо розташовані, прибудовані, вбудовані) цехової трансформаторної підстанції (ТП); вибрати кількість, тип і розташування силових розподільних пунктів (РП) і щитів освітлення (ЩО), параметри ліній електропередачі напругою 0,38 та 10 кВ, та внутрішньоцехових мереж, вирішити питання компенсації реактивної потужності, розрахувати втрати електричної енергії в окремих елементах СЕП.

Зазначені розрахунки включають наступні етапи:

1 Відповідно до варіанту завдання на курсовий проєкт згідно початковими даними (план цеху з розташуванням обладнання та його характеристиками за варіантами наведено у таблицях 1.2–1.6):

- виконати аналіз режимів роботи силових споживачів електричної енергії (у тому числі щодо виду струму, номінальної напруги та т.і.);
- опрацювати питання вибору освітлювального обладнання з урахуванням характеристик приміщення, нормативного рівня освітлення, рівня зорових робіт у цеху;
- визначити рівень надійності електропостачання для кожного споживача (групи споживачів);

2 Для схеми електропостачання наведеної на **рис. 1.1** знайти розрахункове навантаження на вводах житлових і громадських будинків A , B , C , D у нормальному та післяаварійному режимах роботи. Знайти розрахункове навантаження на шинах НН трансформаторної підстанції ТП5 у нормальному та післяаварійному режимах роботи.

Для схеми електропостачання наведеної на **рис. 1.2** знайти розрахункове навантаження на вводах житлових і громадських будинків E , F , G , K , L , M у нормальному режимі роботи за умови, що ділянки $E-F$, $G-K$, $L-M$ у нормальному режимі розімкнено. Знайти розрахункове навантаження на шинах НН трансформаторної підстанції ТП5 у нормальному та післяаварійному режимах роботи.

Дані для розрахунків наведено у таблиці 1.7.

3 Для схеми електропостачання наведеної на **рис. 1.1** вибрати переріз ліній НН, які живлять житлові та громадські будинки A , B , C , D . Допустима втрата напруги у нормальному режимі становить 4 %. Довжини ділянок НН L , м наведено у таблиці 1.8.

Для схеми електропостачання наведеної на **рис. 1.2** вибрати переріз ліній НН, які живлять житлові та громадські будинки або F , K , M за умови, що ділянки $E-F$, $G-K$, $L-M$ у нормальному режимі розімкнено. Допустима втрата напруги у нормальному режимі становить 5 %. Довжини ділянок НН L , м наведено у таблиці 1.9.

4 Вибрати переріз ліній L_1 та L_2 розподільної мережі 10 кВ.

Розрахункові навантаження $S_{\text{ТП}}$ (кВ·А) ТП2–ТП4 для схеми електропостачання **рис. 1.1** наведено у таблиці 1.10.

Розрахункові навантаження $S_{\text{ТП}}$ (кВ·А) ТП2–ТП4 та ТП6–ТП10 для схеми електропостачання **рис. 1.2** наведено у таблиці 1.11. У схемі електропостачання **рис. 1.2**, ділянка мережі ТП5–ТП6 у нормальному режимі розімкнута.

5 Визначити розрахункове активне та реактивне навантаження на шинах НН центра живлення (ЦЖ) 110/10 кВ, враховуючи навантаження ліній

L_1 та L_2 , а також приєднане до шин навантаження S_1 та S_2 , значення яких (P_1 та P_2 у МВт, Q_1 та Q_2 у Мвар) наведено у таблиці 1.12.

6 Розрахувати потужність конденсаторний батареї (КБ), приєднаних до шин НН ЦЖ, з метою забезпечення значення $\cos\phi$ не нижче 0,95. Визначити ступені регулювання КБ за умов, що графіки навантаження (у відносних одиницях) без урахування компенсації реактивної потужності мають такий вигляд.

Споживач першої секції шин ЦЖ n_1 діб працюють за графіком навантаження P'_1 , Q'_1 та n_2 діб за графіком P''_1 , Q''_1 . Відповідно, споживач другої секції шин працюють n_1 діб за графіком навантаження P'_2 , Q'_2 та n_2 діб з навантаженнями P''_2 , Q''_2 . Решту часу ($365 - n_1 - n_2$) діб трансформатори підстанції 110/10 кВ відключено від мережі 110 кВ. Чотириступеневі (тривалість кожної ступені шість годин) добові графіки навантаження $P_{ii}^{/*}$, $Q_{ii}^{/*}$ та $P_{ii}^{/**}$, $Q_{ii}^{/**}$ у відносних одиницях (пронормованих відносно максимального значення навантаження) наведено у таблиці 1.13, де i – номер ступені графіка. Відповідно, чотириступеневі (тривалість кожної ступені шість годин) добові графіки навантаження $P_{iii}^{/*}$, $Q_{iii}^{/*}$ та $P_{iii}^{/**}$, $Q_{iii}^{/**}$ у відносних одиницях наведено у таблиці 1.14.

7 Визначити номінальну потужність трансформаторів 110/10 кВ ЦЖ і розрахувати в них річні втрати електричної енергії, використовуючи наступні методи:

- метод поелементних розрахунків (для всіх варіантів);
- метод середніх навантажень (варіанти 6–10);
- метод числа годин найбільших втрат (варіанти 1–5).

8. На кресленні (формат А3) зображуються: електрична схема з зазначенням (згідно діючого стандарту) всіх комутаційних апаратів, довжини, марки та перерізу ліній напругою 0,38 та 10 кВ, типу та номінальної потужності розподільних трансформаторів.

Курсовий проєкт виконується на підставі наступних нормативних документів, посилання на відповідні пункти яких є **обов'язковими**:

1. Правила улаштування електроустановок. Київ: Міненерговугілля України, 2017. 617 с.
2. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Київ: Міненерговугілля України, 2006. 141 с.
3. ГКД 34.20.507-2003 Правила технічної експлуатації електричних станцій і мереж. Харків: Індустрія, 2019. 580 с.
4. ДБН В.2.5-28-2018 Природне і штучне освітлення. Київ: Мінрегіонбуд України, 2018. 133 с.
5. ДБН В.2.5-23:2010 Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 104 с.
6. ДСТУ-Н Б В.2.5-80:2015 Настанова з проектування систем електропостачання промислових підприємств. Київ: Мінрегіонбуд України, 2015. 45 с.

1.2 Початкові дані

Початкові дані вибираються згідно варіантів виданих студенту викладачем-консультантом і наведено у таблицях 1.1–1.14.

Таблиця 1.1 – Розподіл споживачів між силовими РП

Номер варіантів	Номери рисунків з планом цеху	Номери таблиць з даними електрообладнання	Номери електрообладнання
1	1.6	1.5	1–41
2	1.5	1.4	1–41
3	1.4	1.3	1–44
4	1.3	1.2	1–43
5	1.7	1.6	1–39
6	1.6	1.5	1–42
7	1.5	1.4	1–41
8	1.4	1.3	1–44
9	1.3	1.2	1–43
10	1.7	1.6	1–39

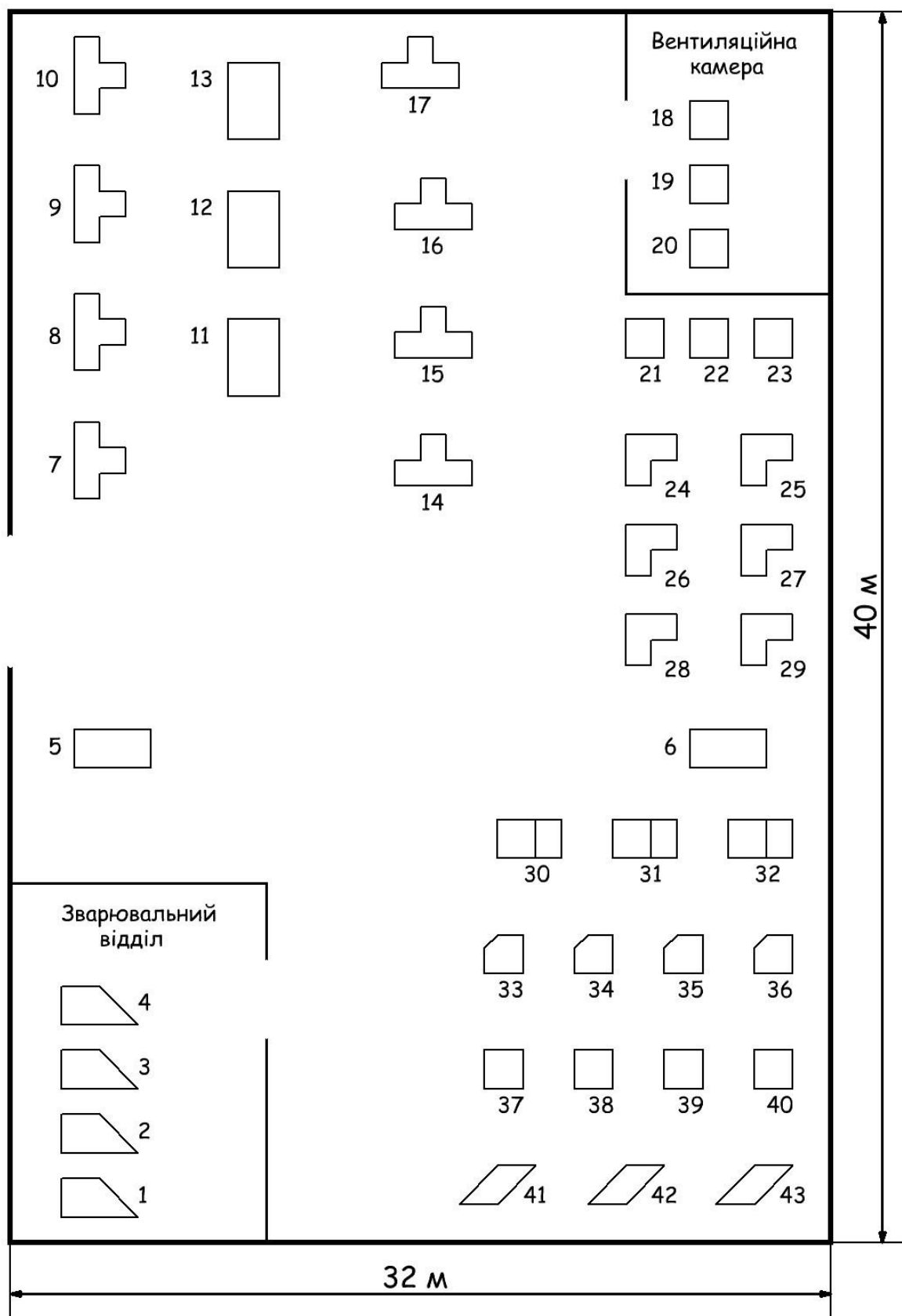


Рисунок 1.3 – План розміщення ЕП ремонтно-механічного цеху

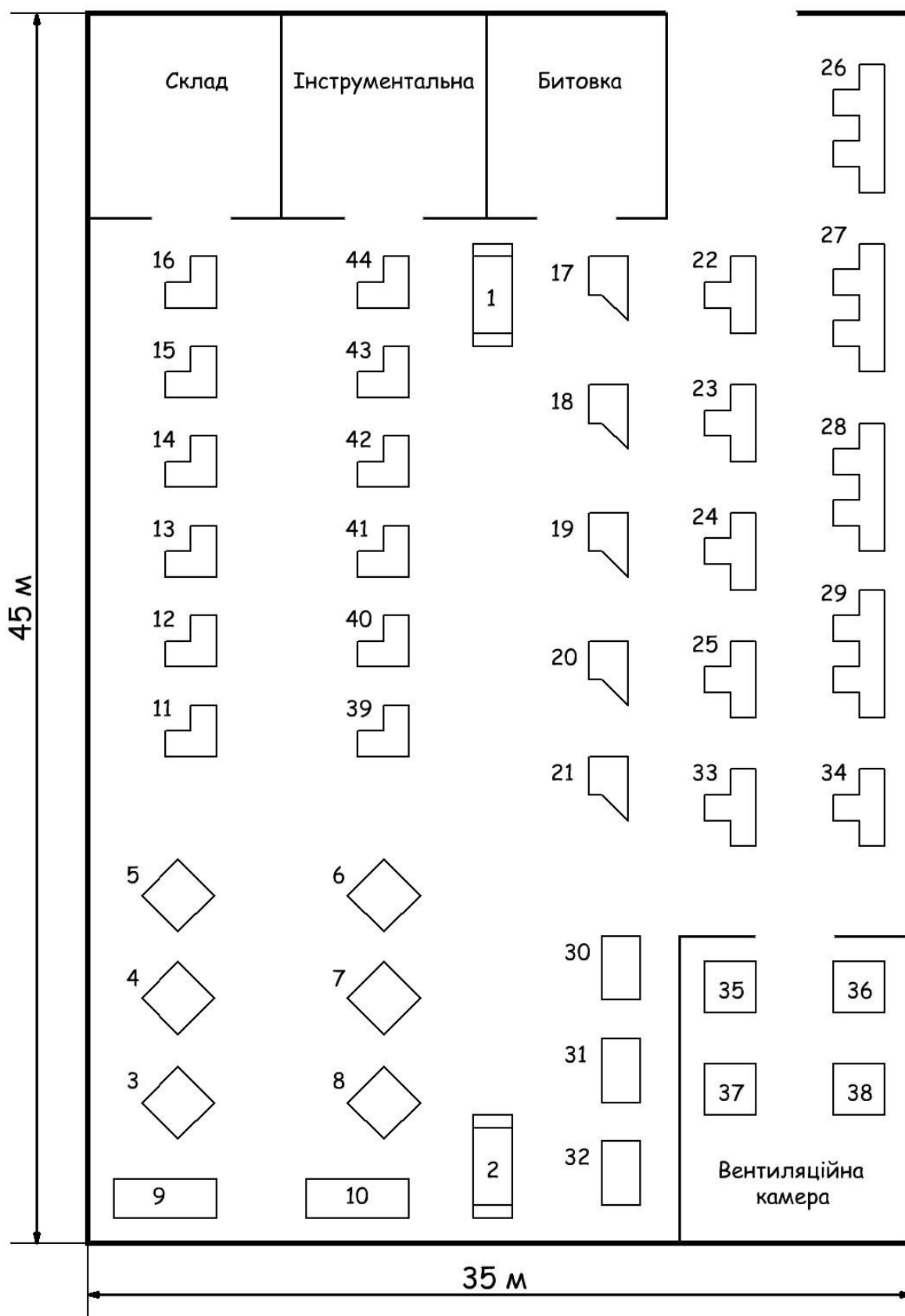


Рисунок 1.4 – План розміщення ЕП електромеханічного цеху

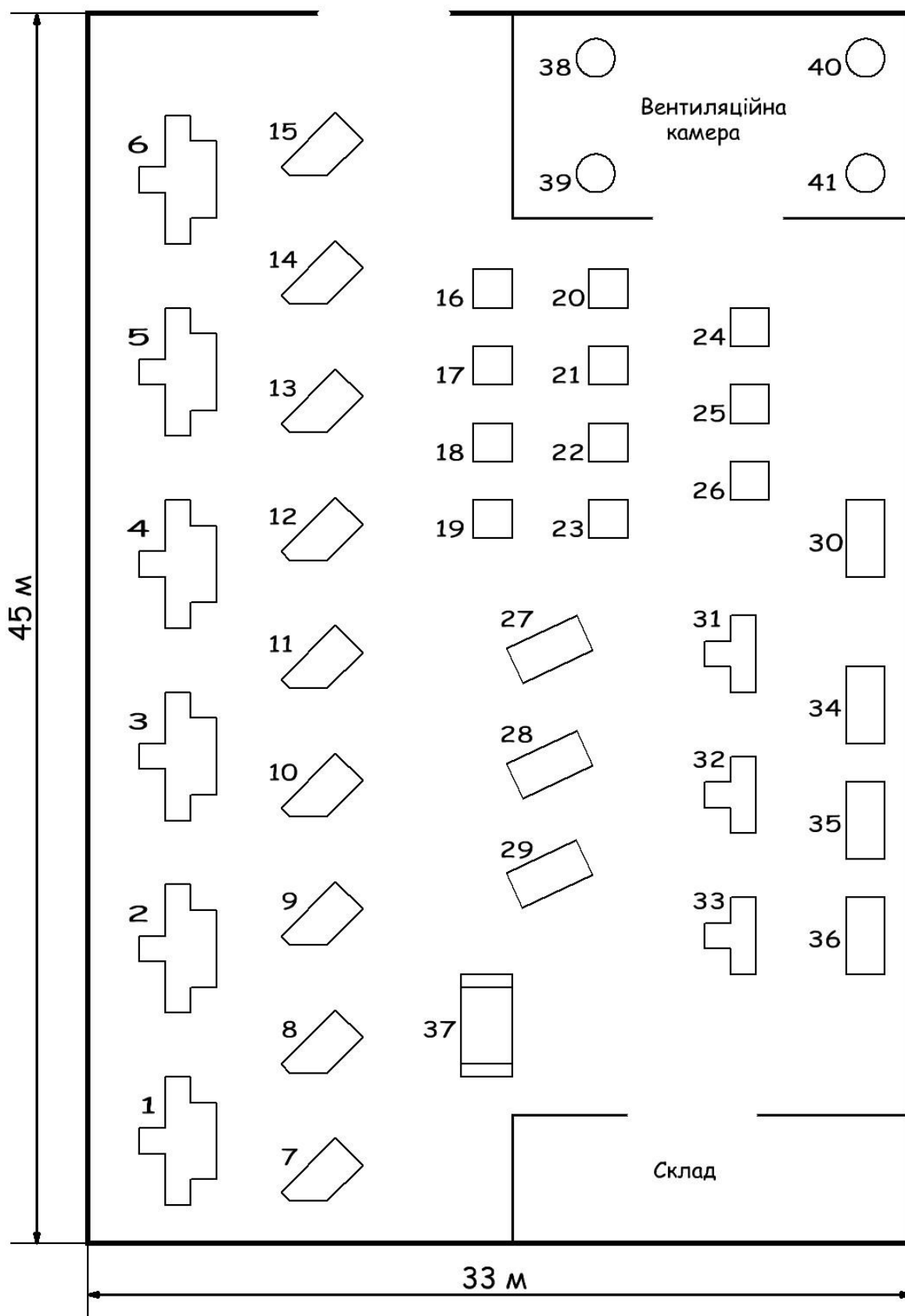


Рисунок 1.5 – План розміщення ЕП механічного цеху

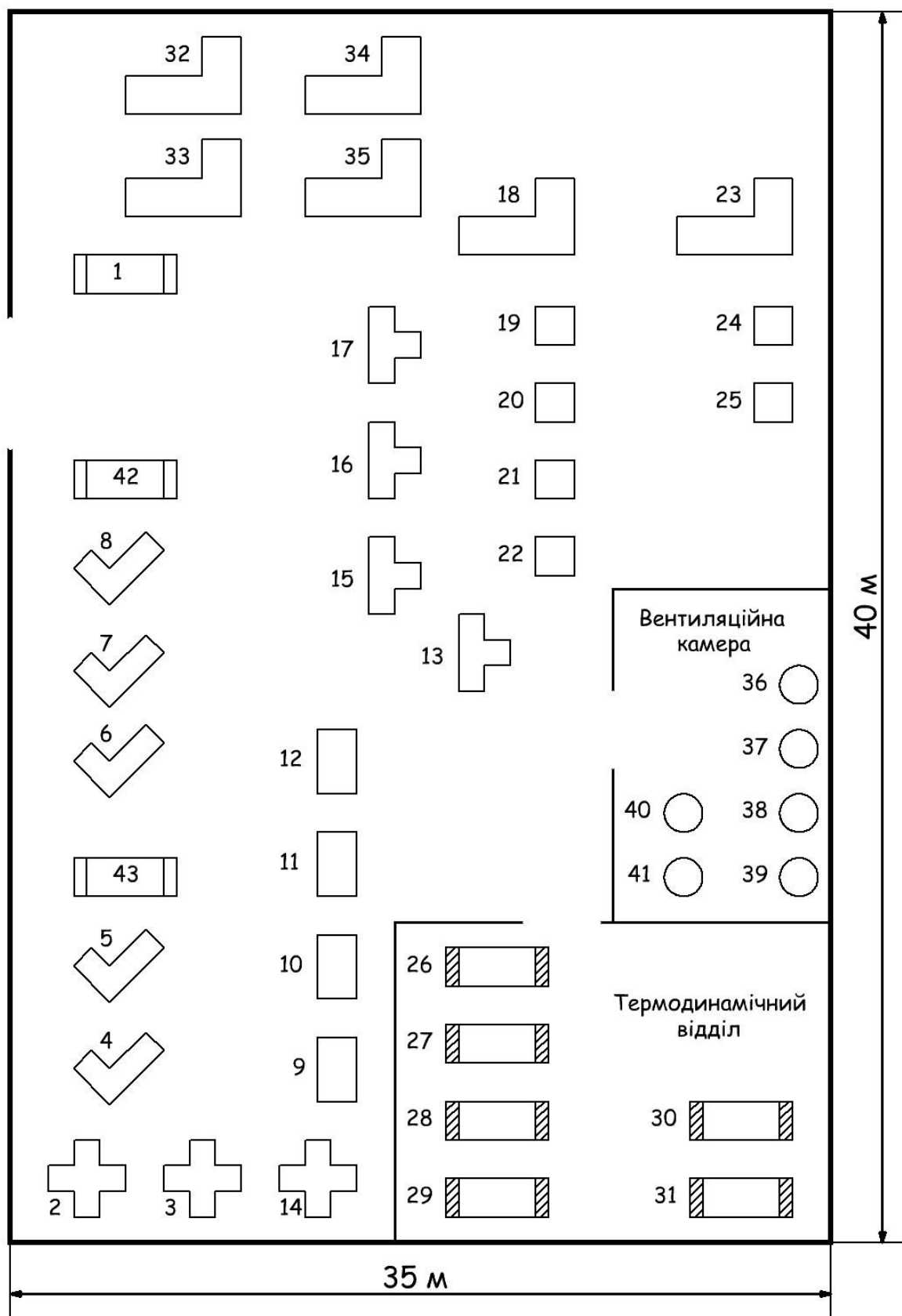


Рисунок 1.6 – План розміщення ЕП інструментального цеху

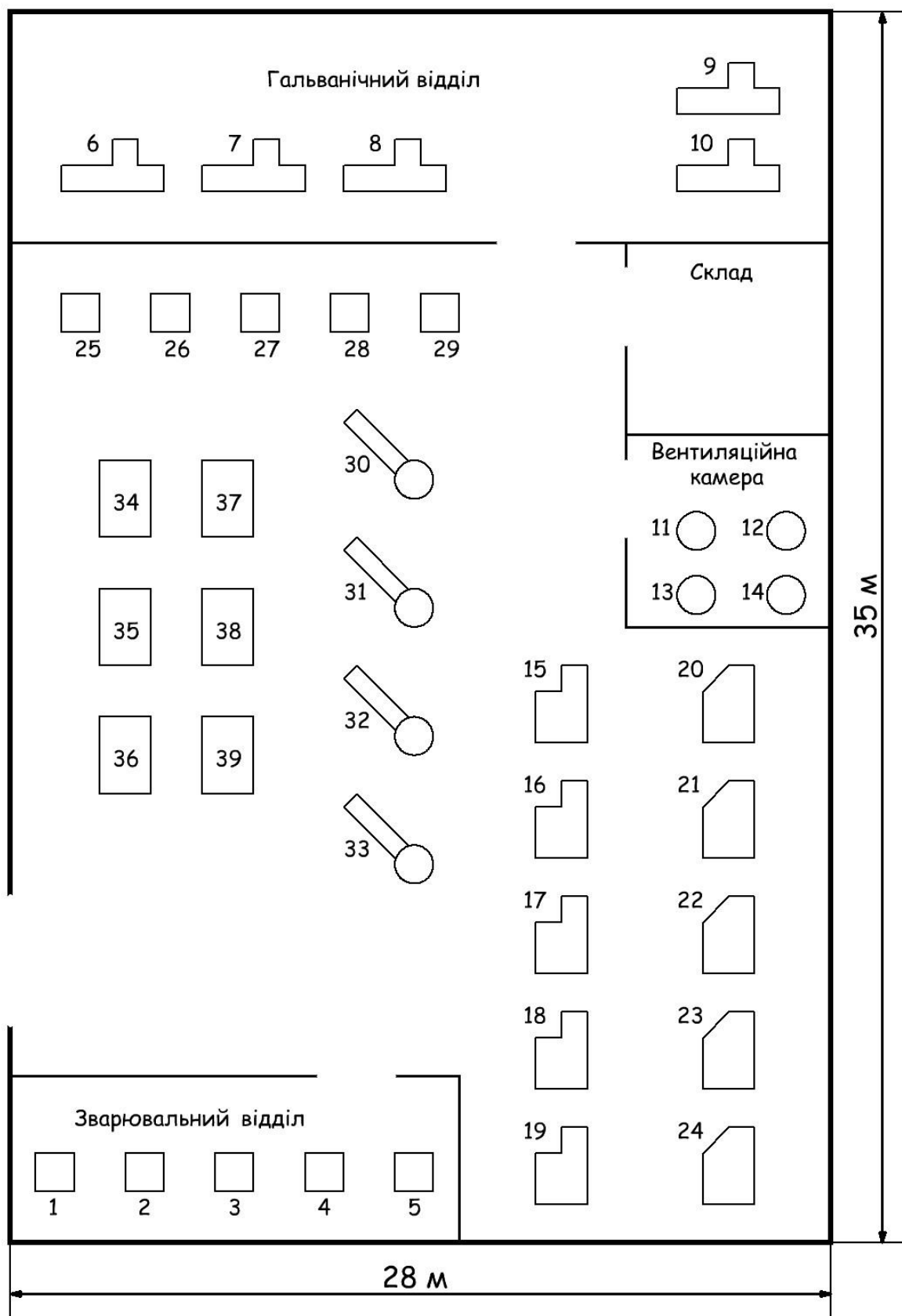


Рисунок 1.7 – План розміщення ЕП цеху обробки корпусних деталей

Таблиця 1.2 – Характеристики ЕП ремонтно-механічного цеху

Номери на плані цеху	Назва ЕП	k_b	$\cos\varphi$	Номінальна потужність p_n , кВт	
				Варіант	
				4	9
1, 2, 3, 4	Зварювальні агрегати, ТВ = 40 %	0,25	0,4	14	16
5, 6	Мостові крани, ТВ = 60 %	0,12	0,5	25	30
7–10	Зубофрезерувальні верстати	0,15	0,5	15	20
11–13	Шліфувальні верстати	0,17	0,6	6	6
14–17	Токарні верстати	0,14	0,6	10	8
18–20	Вентилятори	0,6	0,8	60	48
21–23	Строгальні верстати	0,2	0,5	10	18
24–29	Фрезерувальні верстати	0,21	0,6	8	8
30–32, 37–40	Токарні верстати	0,14	0,6	4	6
33–36	Токарні верстати	0,16	0,7	6	4
41–43	Заточувальні верстати	0,18	0,6	2	3

Таблиця 1.3 – Характеристики ЕП електромеханічного цеху

Номери на плані цеху	Назва ЕП	k_b	$\cos\varphi$	Номінальна потужність p_n , кВт	
				Варіант	
				3	8
1, 2	Мостові крани, ТВ = 60 %	0,15	0,5	30	36
3–8	Маніпулятори	0,22	0,6	3,8	3,2
9,10	Точильно-шліфувальні верстати	0,17	0,55	2,2	2,8
11–16, 39–44	Свердлильні верстати	0,2	0,6	3,5	3,2
22–25, 33, 34	Токарні напівавтомати	0,4	0,7	12	10,5
17–21, 30–32	Горизонтально-фрезерні верстати	0,23	0,55	7	7,5
26–29	Продольнострогальні верстати	0,2	0,7	10	10,5
35–38	Вентилятори	0,7	0,8	12	7

Таблиця 1.4 – Характеристики ЕП механічного цеху

Номери на плані цеху	Назва ЕП	k_b	$\cos\varphi$	Номінальна потужність p_n , кВт	
				Варіант	
				2	7
1–6	Шліфувальні верстати	0,22	0,6	70	65,5
7–10	Обдираючі верстати	0,17	0,5	30	45
11–15	Заточувальні верстати	0,2	0,5	6	3,5
16–23	Фрезерувальні верстати	0,22	0,5	14	10
24–26	Свердлильні верстати	0,14	0,6	6,2	5
27–29	Токарні верстати	0,16	0,6	22,5	16
31–33	Агрегатні верстати	0,3	0,7	6	14
30, 34–36	Електротермічні установки	0,6	0,9	18	10
37	Мостові крани, ТВ = 60 %	0,1	0,5	70	50
38, 39	Вентилятор витяжний	0,6	0,8	50	40
40, 41	Вентилятор приточний	0,6	0,8	55	45

Таблиця 1.5 – Характеристики ЕП інструментального цеху

Номери на плані цеху	Назва ЕП	k_b	$\cos\varphi$	Номінальна потужність p_n , кВт	
				Варіант	
				1	6
2, 3, 14	Строгальні верстати	0,18	0,55	16,2	12,2
4–8	Токарно-револьверні верстати	0,15	0,5	12,5	10,5
9–12	Шліфувальні верстати	0,2	0,5	4,2	2,8
13, 15–17	Вертикально-свердлильні верстати	0,14	0,5	6,2	3,5
18, 23, 32–35	Заточувальні верстати	0,25	0,65	8	9,5
19–22, 24, 25	Фрезерувальні верстати	0,22	0,55	10	7,5
26–29	Електричні печі опору	0,8	0,92	50	30
30, 31	Електричні печі індукційні	0,6	0,9	26	22
36–41	Вентиляція	0,5	0,7	8,2	7
1, 42, 43	Мостові крани, ТВ = 25 %	0,12	0,5	30	40

Таблиця 1.6 – Характеристики ЕП цеху обробки корпусних деталей

Номери на плані цеху	Назва ЕП	k_b	$\cos\varphi$	Номінальна потужність p_n , кВт	
				Варіант	
				5	10
1–5	Зварювальні апарати, ТВ = 60 %	0,25	0,4	48	48
6–8	Гальванічні ванни	0,5	0,7	30	32,5
9, 10	Розточувальні верстати	0,26	0,7	10	12
11–14	Вентилятори	0,6	0,8	16	8
15–19	Плоскошліфувальні верстати	0,14	0,6	12	16,5
20–24	Радіально-свердлильні верстати	0,21	0,7	8	6,5
25–29	Токарні верстати	0,14	0,6	11	6
30–33	Крани консольно-поворотні, ТВ = 60 %	0,12	0,45	7,5	9,5
34–39	Електричні печі індукційні	0,65	0,9	15	20

Таблиця 1.7 – Характеристики комунально-побутових споживачів для визначення розрахункового навантаження

Об'єкт	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Житловий будинок, газові плити, 9 поверхів, 3 секції, 108 помешкань	<i>E, F</i>		<i>L</i>	<i>E</i>						
Житловий будинок, газові плити, 9 поверхів, 4 секції, 216 помешкань		<i>B</i>		<i>B</i>		<i>A</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>A, B</i>	<i>D</i>
Житловий будинок, газові плити, 5 поверхів, 4 секції, 80 помешкань	<i>K</i>	<i>E, F, M</i>	<i>M</i>	<i>C, F</i>	<i>E, G</i>	<i>E</i>	<i>G, K</i>	<i>F, K</i>	<i>F</i>	<i>E, G</i>
Житловий будинок, газові плити, 5 поверхів, 2 секції, 60 помешкань		<i>G, L</i>	<i>E, F</i>	<i>K</i>	<i>F, L</i>	<i>F, G, L</i>	<i>E</i>	<i>G, M</i>	<i>G, K, M</i>	<i>F</i>
Житловий будинок, електричні плити, 16 поверхів, 2 секції, 128 помешкань	<i>A, B</i>		<i>B, C</i>			<i>C</i>		<i>B</i>		<i>C</i>
Житловий будинок, електричні плити, 24 поверхи, 4 секції, 284 помешкання		<i>A</i>			<i>B, C</i>		<i>C</i>	<i>C</i>	<i>C</i>	
Дитячий садок, 128 місць	<i>L</i>		<i>K</i>	<i>L</i>	<i>K, M</i>		<i>L</i>		<i>L</i>	
Дитячий садок, 200 місць із харчоблоком		<i>D</i>			<i>D</i>		<i>A</i>			
Школа, 1000 учнів із харчоблоком	<i>C</i>		<i>A</i>				<i>D</i>		<i>D</i>	<i>A</i>
Супермаркет з площею торгівельної зали 1000 м ²		<i>C</i>	<i>D</i>	<i>A</i>						
Промтоварний магазин з площею торгівельної зали 600 м ²			<i>G</i>	<i>M</i>				<i>L</i>	<i>E</i>	<i>M</i>
Продовольчий магазин з площею торгівельної зали 200 м ²	<i>M</i>						<i>M</i>	<i>E</i>		
Кінотеатр на 800 місць	<i>D</i>			<i>D</i>	<i>A</i>					
Ресторан на 250 місць						<i>D</i>		<i>D</i>		
Готель на 400 місць				<i>G</i>		<i>B</i>				<i>B</i>
Кафе на 100 місць	<i>G</i>					<i>K</i>	<i>F</i>			<i>K</i>
Перукарня на 20 робочих місць		<i>K</i>				<i>M</i>				<i>L</i>

Таблиця 1.8 – Довжина ліній низької напруги (м) (для схеми електропостачання **рис. 1.1)**

Ланка	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ТП–А	60	80	90	40	60	50	80	70	90	50
ТП–В	30	80	100	110	80	80	60	80	60	100
ТП–С	100	40	40	60	100	100	120	90	30	40
ТП–D	80	50	60	80	40	70	50	60	80	90

Таблиця 1.9 – Довжина ліній низької напруги (м) (для схеми електропостачання **рис. 1.2)**

Ланка	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ТП–Е	60	40	90	40	60	50	70	30	20	80
ТП–F	30	80	30	60	40	70	50	100	80	30
Е–F	40	60	40	30	70	40	90	60	60	80
ТП–G	50	60	50	80	90	40	80	80	50	60
ТП–K	80	60	80	70	20	40	60	90	70	20
G–K	40	100	60	90	30	60	40	20	30	30
ТП–L	30	40	50	50	60	80	40	60	50	60
ТП–M	60	70	40	30	70	60	30	80	90	50
L–M	90	50	70	40	50	50	50	50	20	40

Таблиця 1.10 – Навантаження на один трансформатор ТП (кВ·А) (для схеми електропостачання **рис. 1.1)**

ТП	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$S_{ТП2}$	420	510	380	460	500	400	680	400	460	520
$\cos\varphi_{ТП2}$	0,95	0,95	0,82	0,9	0,86	0,9	0,95	0,9	0,98	0,96
$S_{ТП3}$	300	420	350	500	530	500	380	210	520	400
$\cos\varphi_{ТП3}$	0,92	0,88	0,96	0,9	0,8	0,96	0,82	0,98	0,86	0,88
$S_{ТП4}$	400	500	410	460	380	400	460	380	300	350
$\cos\varphi_{ТП4}$	0,86	0,9	1	0,95	0,92	0,98	0,9	0,86	0,9	0,9

Таблиця 1.11 – Навантаження на один трансформатор ТП (кВ·А) (для схеми електропостачання **рис. 1.2**)

ТП	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$S_{ТП2}$	420	510	380	460	500	400	680	400	460	520
$\cos\varphi_{ТП2}$	0,95	0,95	0,82	0,9	0,86	0,9	0,95	0,9	0,98	0,96
$S_{ТП3}$	300	420	350	500	530	500	380	210	520	400
$\cos\varphi_{ТП3}$	0,92	0,88	0,96	0,9	0,8	0,96	0,82	0,98	0,86	0,88
$S_{ТП4}$	400	500	410	460	380	400	460	380	300	350
$\cos\varphi_{ТП4}$	0,86	0,9	1	0,95	0,92	0,98	0,9	0,86	0,9	0,9
$S_{ТП6}$	320	300	500	300	280	560	500	380	400	500
$\cos\varphi_{ТП6}$	0,93	0,85	0,9	0,96	0,92	0,86	0,9	0,92	0,93	0,8
$S_{ТП7}$	410	120	300	420	420	400	410	520	400	520
$\cos\varphi_{ТП7}$	0,9	0,93	0,85	0,95	0,95	0,98	0,88	0,88	0,95	1
$S_{ТП8}$	280	560	280	560	500	520	480	270	350	560
$\cos\varphi_{ТП8}$	0,9	0,96	0,86	0,92	0,9	0,9	0,93	0,94	0,88	0,94
$S_{ТП9}$	520	520	460	400	380	600	300	490	320	480
$\cos\varphi_{ТП9}$	0,95	0,85	0,9	0,95	0,89	0,8	0,86	0,78	0,9	0,86
$S_{ТП10}$	400	510	380	380	200	400	190	510	360	500
$\cos\varphi_{ТП10}$	0,92	0,9	0,96	0,88	1	0,78	0,92	0,98	0,94	0,9

Таблиця 1.12 – Навантаження приєднане до окремих секцій шин ЦЖ

Параметри	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P_1 , кВт	1000	1200	1100	1400	950	1200	1450	800	1500	1550
Q_1 , квар	95	75	99	200	400	85	350	400	420	440
P_2 , кВт	1100	1150	1350	1350	1050	1000	1400	750	1450	1400
Q_2 , квар	110	250	125	100	330	155	250	500	350	400

Таблиця 1.13 – Навантаження споживачів I секції шин підстанції 110/10 кВ S_I

Параметри	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n_1	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240
P'_{I1}, Q'_{I1}	0,4	0,3	0,2	0,2	0,8	0,5	0,7	0,3	0,8	0,3
P'_{I2}, Q'_{I2}	1,0	0,5	0,8	1,0	0,6	1,0	0,9	0,7	0,7	0,5
P'_{I3}, Q'_{I3}	0,6	1,0	1,0	0,8	1,0	0,8	1,0	1,0	0,6	1,0
P'_{I4}, Q'_{I4}	0,2	0,7	0,6	0,4	0,4	0,6	0,6	0,4	1,0	0,8
n_2	200	200	190	175	160	140	130	130	110	110
P''_{I1}, Q''_{I1}	0,5	0,6	0,3	0,3	0,6	0,4	0,6	0,4	0,7	0,4
P''_{I2}, Q''_{I2}	0,9	0,8	0,7	0,8	0,7	0,7	0,8	0,5	0,4	0,3
P''_{I3}, Q''_{I3}	1,0	1,0	0,9	0,7	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,7
P''_{I4}, Q''_{I4}	0,3	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	0,4	0,6	0,8	0,9

Таблиця 1.14 – Навантаження споживачів II секції шин підстанції 110/10 кВ S_{II}

Параметри	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n_1 , діб	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240
P'_{II1}, Q'_{II1}	0,3	0,4	0,7	0,3	0,7	0,2	0,6	0,4	0,5	0,7
P'_{II2}, Q'_{II2}	0,9	0,6	1,0	0,9	0,8	1,0	0,2	0,6	0,6	1,0
P'_{II3}, Q'_{II3}	0,7	0,7	0,8	1,0	1,0	0,9	0,7	0,9	0,8	0,9
P'_{II4}, Q'_{II4}	1,0	1,0	0,5	0,8	0,5	0,4	0,9	0,5	0,9	0,4
n_2 , діб	200	200	190	175	160	140	130	130	110	110
P''_{II1}, Q''_{II1}	0,2	0,3	0,4	0,4	0,7	0,3	0,8	0,3	0,4	0,6
P''_{II2}, Q''_{II2}	0,5	0,5	0,6	0,8	1,0	0,8	0,5	0,6	0,7	0,8
P''_{II3}, Q''_{II3}	0,8	0,9	0,7	0,9	0,8	0,7	0,6	0,9	0,9	0,7
P''_{II4}, Q''_{II4}	0,7	0,8	1,0	0,6	0,6	0,5	1,0	0,7	0,5	0,4

2 ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Текстовою частиною проєкту є пояснювальна записка, обсяг якої складає 30–40 сторінок. У тексті записки стисло викладається методика розрахунків, подається обґрунтування прийнятих рішень, наводяться необхідні для розрахунків формули та схеми.

2.1 Структура записки

Пояснювальну записку до проєкту (роботи) умовно поділяють на частини:

а) вступна частина:

- 1) титульний аркуш;
- 2) завдання до проєкту (роботи);
- 3) зміст;

б) основна частина:

- 1) вступ;
- 2) основна частина проєкту (розділи записки);
- 3) перелік посилань;

в) додатки.

Титульний аркуш і бланк завдання для курсового проєкту видається студентові на кафедрі. Зовнішній вигляд титульного аркуш пояснювальної записки, а також бланка завдання наведено у додатку А.

У завданні на курсовий проєкт обов'язково зазначають: термін завершення проєкту;

– початкові дані для проєкту – визначається джерело надходження інформації і даних, необхідних для курсового проєктування, а також основні групи даних, які використовуються для оформлення проєкту;

– зміст розрахунково-пояснювальної записки – стисло наводять перелік питань, які підлягають розробці у курсовому проєкті;

- перелік графічного матеріалу;
- зазначається прізвище керівника курсового проєкту;
- календарний план – визначаються основні етапи курсового проєкту, а також терміни їх виконання (додаток А).

2.2 Комплектація записки

Для курсових проєктів рекомендується послідовність розміщення матеріалів, яка наведена нижче.

Зміст розташовується безпосередньо після завдання та календарного плану виконання проєкту, починаючи з нової сторінки.

Додатки розміщують після основної частини проєкту.

Пояснювальна записка курсового проєкту переплітається у прозорий скорозшивач. Креслення виконане на форматі А3 вкладається останнім аркушем, який складено у відповідності до ЄСКД ГОСТ 2.501-88 «Правила учета и хранения».

3 ВИМОГИ ДО СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАПИСКИ

3.1 Зміст

До змісту обов'язково включають дані про структурні елементи пояснювальної записки: вступ, послідовно перелічені назви усіх розділів, підрозділів, пунктів і підпунктів (якщо вони мають заголовки) проєкту, перелік посилань (перелік використаних джерел), назви додатків і номери сторінок.

Зміст складають, якщо записка містить не менше двох розділів, або один розділ і додаток при загальній кількості сторінок не менше десяти.

Приклад оформлення змісту наведено у додатку Б. Вимоги до структурних елементів основної частини та додатків наведено у розділі 4.

3.2 Вступ

У курсових проєктах вступ розміщується на окремій сторінці (сторінках).

У вступі формулюють мету роботи та завдання, які необхідно вирішити.

Наводять:

- оцінку сучасного стану проблеми;
- розкривають суть розв'язуваних задач і їх господарське значення;
- світові тенденції розв'язання поставлених задач;
- мету роботи та галузь застосування.

3.3 Основна частина

Мета пояснювальної записки – це виклад відомостей про об'єкт (предмет) проєктування або науково-технічну розробку, які є необхідними та достатніми для розкриття самої роботи та її результатів.

Особливу увагу приділяють новизні, а також сумісності, взаємозамінності, надійності, заходам безпеки експлуатації елементів СЕП, екології, ресурсозбереженню та ін.

Якщо у роботі необхідно навести додаткові дані, що не мають суттєвого

впливу на зміст проєктування та структуру проєкту (або не мають безпосереднього відношення до предмету проєктування), їх вміщують у додатках.

Зміст проєкту викладають, поділяючи матеріал на розділи. Розділи можуть поділятися на пункти або на підрозділи та пункти. Пункти, якщо це необхідно, поділяються на підпункти. Кожен пункт і підпункт повинен містити закінчену інформацію. За необхідності текст проєкту може складатись лише з пунктів.

3.4 Додатки

У додатках вміщують матеріал, який:

а) є необхідним для повноти записки, але включення якого до її основної частини може змінити впорядковане та логічне уявлення про роботу (додаткові ілюстрації або таблиці, текст допоміжного характеру, конструкторські документи (схеми, креслення та ін.));

б) матеріали, які через великий обсяг, специфіку викладання або форму подання не можуть бути внесені до основної частини (оригінали фотографій, проміжні математичні формули; розрахунки, інструкції, методики, повні тексти комп'ютерних програм, що були розроблені під час або для проєктування тощо);

в) додатковий перелік джерел, на які не було посилань у записці.

4 ОФОРМЛЕННЯ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

4.1 Загальні вимоги

Пояснювальну записку виконують згідно з ДСТУ 3008:2015 на аркушах формату А4 (210х297 мм). За необхідності допускається використання аркушів форматів А5 (148х210 мм) та А3 (297х420 мм).

Для кожного аркуша графічної частини згідно з ГОСТ 2.104-68 передбачений основний напис, зображений на рис. 4.1. Для другого аркуша документа пояснювальної записки (зміст) передбачено основний напис, який зображено на рис. 4.2.

					(2)					
(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(1)	Літера			Маса	Масштаб
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		(	4	)	(5)	(6)
Розробник						Аркуш (7) Аркушів (8)				
Перевірив										
Т.контр.					(3)	(9)				
(10)	(11)	(12)	(13)							
Н.контр.										
Затверд.										

Рисунок 4.1 – Основний напис для аркушів графічного матеріалу

					(2)					
(14)	(15)	(16)	(17)	(18)						
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата						
Розробник					(1)	Літера		Аркуш	Аркушів	
Перевірив						(	4	)	(7)	(8)
(10)	(11)	(12)	(13)							
Н.контр.						(9)				
Затверд.										

Рисунок 4.2 – Основний напис перших сторінок текстових документів

У відповідних графах вказуються:

графа 1 – тема проєкту (наприклад, «Електропостачання молокозаводу. Пояснювальна записка»);

графа 2 – позначення пояснювальної записки згідно з ГОСТ 2.201-80. Для

курсowego проектування у графу 2 записують шифр, що складається послідовно із початкових букв навчального закладу, порядкового номера роботи (проєкту), номера залікової книжки. Решту знаків заповнюють нулями та дописують ПЗ (пояснювальна записка).

Порядкові номери проєктів та робіт:

001 – Дипломний проєкт;

002 – Дипломна робота;

003 – Електричні машини;

004 – Виробництво та розподіл електроенергії;

005 – Системи електропостачання;

006 – Обчислювальна техніка, алгоритмічні мови та програмне забезпечення;

007 – Інженерна графіка;

008 – Промислова електроніка;

009 – Економіка та організація виробництва;

010 – Основи теплотехніки;

011 – Споживачі електричної енергії;

012 – Автоматизований електропривод;

013 – Релейний захист та автоматика;

014 – Енергетичний контроль;

015 – Інші.

Наприклад, шифр **КП.0055302.032 ПЗ** означає:

КП – КП ім. Ігоря Сікорського;

055 – курсовий проєкт або курсова робота з дисципліни «Системи електропостачання»;

5302 – номер залікової книжки;

032 – варіант курсового проєкту або курсової роботи;

ПЗ – пояснювальна записка.

графа 3 – позначення матеріалу (тільки для креслень деталей);

графа 4 – літера, що присвоєна даному документу згідно з ГОСТ 2.103-68. Для курсових проєктів (робіт) проставляється літера «У», для дипломних проєктів – літера «Д»;

графа 5 – маса у кілограмах;

графа 6 – масштаб (масштаби зображень та їх позначення (наприклад, 1:200, 1:500 та ін.) на креслення встановлюються стандартом);

графа 7 – порядковий номер аркуша;

графа 8 – загальна кількість аркушів записки (графу заповнюють тільки на першому аркуші записки);

графа 9 – назва або індекс підприємства, що випустило документ (для навчальних проєктів вказують: факультет/інститут (наприклад, ІЕЕ), гр. ОЕ-ХХ (наприклад, ОЕ-п91));

графа 10 – характер роботи, виконаний особою, яка підписує документ (Т.контроль – технічний контроль, Н.контроль – нормоконтроль);

графа 11 – прізвища осіб, що підписали документ;

графа 12 – підписи осіб, прізвища яких вказано у графі 11;

графа 13 – дата підписання документа;

графи 14–18 – графи таблиці змін, в які у разі необхідності вноситься відповідна інформація про зміни на кресленнях.

Для наступних аркушів пояснювальної записки використовується напис, зображений на рис. 4.3.

					(2)	Арк.
(14)	(15)	(16)	(17)	(18)		(7)
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 4.3 – Основний напис текстових документів

Під час курсового проєктування дозволяється не заповнювати граfi форми, наданої на рис. 4.3, крім граfi 7.

4.2 Мова

Курсовий проєкт оформлюється лише українською мовою. З метою сприяння процесу активного функціонування державної мови у науковій сфері, а також проєктуванні, активізації процесу становлення української наукової термінології в усіх галузях науки студентам рекомендується використовувати українську мову для написання дипломних (курсівих) проєктів (робіт).

Дозволяється використовувати також англійську, німецьку, французьку (або іншу іноземну мову), але у цьому випадку захист роботи повинен відбуватися у присутності запрошеного фахівця з кафедри іноземної мови.

4.3 Вимоги до тексту

Пояснювальна записка виконується машинним (за допомогою комп'ютерної техніки) способом, на одному боці аркуша білого паперу формату А4 (210х297 мм).

З використанням комп'ютерної техніки (текстовий редактор *Word*) текст друкується шрифтом 14-го розміру з одинарним інтервалом.

Текст розміщують наступним чином:

- відстань від рамки на початку або кінці рядка до тексту не менше 5 мм;
- відстань від верхнього або нижнього рядка тексту до верхньої або нижньої рамки форми не менше 10 мм;
- відстань між заголовками підрозділів або пунктів і подальшим або попереднім текстом має бути один рядок;
- абзацний відступ повинен бути однаковим впродовж усього тексту записки та дорівнювати 10–15 мм.

Під час виконання записки необхідно дотримуватись рівномірної щільності, контрастності та чіткості зображення. Всі лінії, літери, цифри і знаки повинні бути одного кольору впродовж усього тексту.

Оформлення тексту, ілюстрацій і таблиць за машинного способу має відповідати вимогам цих вказівок з урахуванням можливостей комп'ютерної

техніки.

Помилки, описки та графічні неточності допускається виправляти підчищенням або зафарбуванням білою фарбою та нанесенням на тому ж місці або між рядками виправленого зображення, але не більше чотирьох виправлень на сторінку.

4.4 Оформлення структурних елементів

Заголовки структурних частин курсового проєкту (роботи) «ЗАВДАННЯ НА КУРСОВИЙ ПРОЄКТ», «ЗМІСТ», «ВСТУП», «ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ», а також заголовки розділів слід розташовувати посередині рядка і друкувати великим літерами без крапки у кінці, не підкреслюючи.

Кожну структурну частину роботи треба починати з нової сторінки.

Заголовки підрозділів, пунктів і підпунктів записки слід починати з абзацного відступу та друкувати маленькими літерами, крім першої великої, не підкреслюючи, без крапки у кінці. Якщо заголовок складається з двох і більше речень, їх розділяють крапкою. Перенесення слів у заголовку розділу не допускається.

Відстань між основами рядків заголовку, а також між двома заголовками приймають такою, як у тексті.

Не допускається розміщувати назву підрозділу, а також пункту й підпункту, у нижній частині сторінки, якщо після неї розміщено тільки один рядок тексту.

4.5 Нумерація сторінок записки

Нумерацію сторінок починають рахувати з титульного аркуша, але на всіх аркушах, що передують структурному елементу «ЗМІСТ», номери сторінок не проставляються.

Сторінки записки слід нумерувати арабськими цифрами, дотримуючись наскрізної нумерації впродовж усього тексту. Пояснювальна записка до

курсowego проекту оформлюється на аркушах з рамками (див. рис. 4.2 і 4.3). Номер сторінки проставляється у відповідній графі штампу.

У штампі першої сторінки пояснювальної записки з змістом у відповідних графах ставлять порядковий номер сторінки та загальну кількість сторінок записки.

Ілюстрації та таблиці, які розміщені на окремих сторінках, включають до загальної нумерації записки.

4.6 Нумерація розділів, підрозділів, пунктів, підпунктів

Розділи, підрозділи, пункти, підпункти записки нумеруються арабськими цифрами.

Розділи записки повинні мати порядкову нумерацію у межах викладення її суті та позначатися арабськими цифрами без крапки, наприклад: 1, 2, 3, 4 і т.д.

Підрозділи повинні мати порядкову нумерацію у межах кожного розділу. Номер підрозділу складається з номера розділу та порядкового номера підрозділу, відокремленого крапкою. Після номера підрозділу крапку не ставлять, наприклад: 1.1 (перший підпункт першого розділу), 1.2, 1.3 і т.д.

Пункти повинні мати порядкову нумерацію у межах кожного розділу або підрозділу. Номер пункту складається з номера розділу, порядкового номера підрозділу та порядкового номера пункту, відокремленого крапками. Після номера пункту крапку не ставлять, наприклад: 1.1.1, 1.1.2 і т.д.

Номер підпункту складається з номера розділу, порядкового номера підрозділу, порядкового номера пункту і порядкового номера підпункту, відокремлених крапками, наприклад: 1.1.1.1, 1.1.1.2 і т.д.

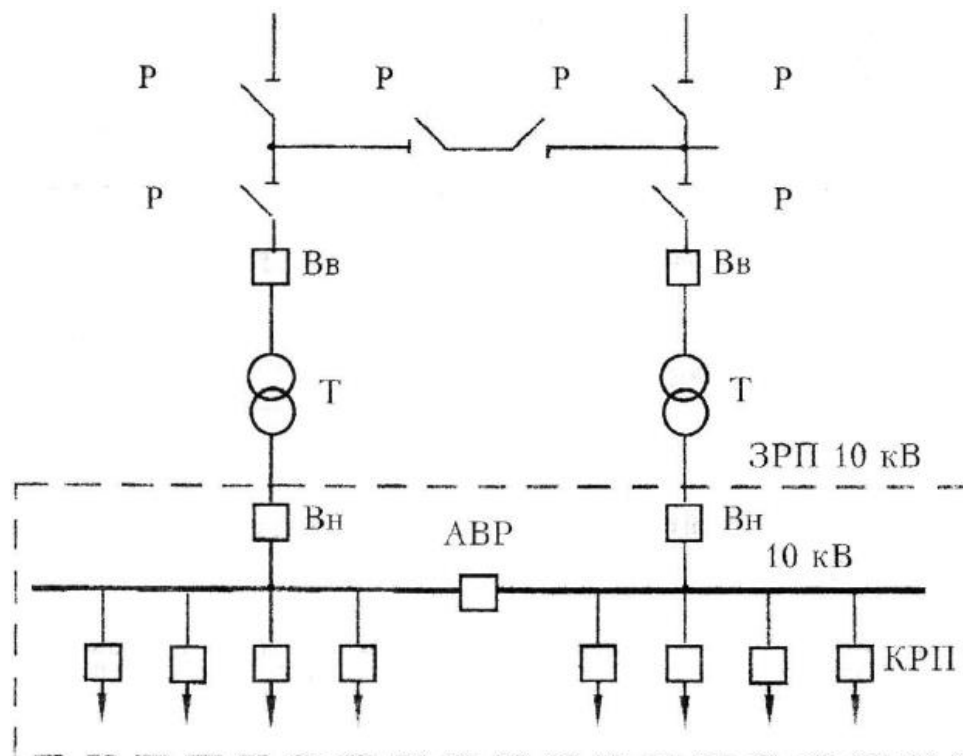
4.7 Ілюстрації

Ілюстрації (креслення, рисунки, графіки, схеми, діаграми, фотографії) слід розміщувати у записці безпосередньо після тексту, де вони згадуються вперше, або на наступній сторінці. На всі ілюстрації мають бути посилання у

пояснювальній записці.

Креслення, рисунки, графіки, схеми, діаграми, розміщені у записці, мають бути виконані відповідно до вимог стандартів «Единой системы конструкторской документации» та «Единой системы программной документации».

Ілюстрації можуть мати назву, яку розміщують безпосередньо під ними. За необхідності під ілюстрацією розміщують пояснювальні дані (підрисунковий текст). Наприклад, схему електричної підстанції наведено на рис. 4.4.



Р – роз'єднувач напругою 110 кВ; ВВ, ВН – високовольні вимикачі напругою відповідно 110 та 10 кВ; Т – трансформатор; ЗРП – закритий розподільний пристрій; АВР – автоматичне введення резерву; КРП – комплексний розподільний пристрій

Рисунок 4.4 – Схема електричної підстанції 110/10 кВ

Ілюстрація позначається словом «Рисунок – __», яке разом з назвою ілюстрації розміщують після пояснювальних даних, наприклад: «Рисунок 3.1 – Схема розміщення».

Ілюстрації слід нумерувати арабськими цифрами порядковою нумерацією у межах розділу, за винятком ілюстрацій, наведених у додатках.

Номер ілюстрації складається з номера розділу і порядкового номера ілюстрації, відокремлених крапкою, наприклад: рисунок 3.2 – другий рисунок

таблиці, відокремлених крапкою, наприклад, таблиця 2.1 – перша таблиця другого розділу.

Таблиця може мати назву, яку пишуть (друкують) маленькими літерами (крім першої великої) і вміщують над таблицею (див. рис. 4.5). Назва має бути стислою та відображати зміст таблиці.

Правила оформлення посилань на таблиці дивись 4.13 та 4.15.

Якщо рядки або графи таблиці виходять за межі формату сторінки, таблицю поділяють на частини, розміщуючи одну частину під однією, або поруч, чи переносять частину таблиці на наступну сторінку, повторюючи у кожній частині таблиці її заголовок і боковик.

Під час поділу таблиці на частини допускається її заголовок або боковик замінити відповідно номерами граф чи рядків, нумеруючи їх арабськими цифрами у першій частині таблиці.

Слово «Таблиця» вказують один раз зліва над першою частиною таблиці. Над іншими частинами таблиці зліва пишуть: «Продовження таблиці» з зазначенням її номера.

Заголовки граф таблиці починають з великої літери, а підзаголовки – з малої, якщо вони складають одне речення із заголовком.

Підзаголовки, що мають самостійне значення, пишуть з великої літери. У кінці заголовків та підзаголовків таблиць крапки не ставлять. Заголовки і підзаголовки граф вказують в однині.

Горизонтальні та вертикальні лінії, які розмежовують рядки таблиці, а також лінії зліва, справа і знизу можна не проводити, якщо їх відсутність не ускладнює користування таблицею. Висота рядків у будь-якому випадку повинна бути не менше 8 мм, діагональний поділ заголовків таблиці не допускається.

Стовпці таблиці нумерують лише тоді, коли на них є посилання у тексті роботи або коли таблиця продовжується на наступній сторінці.

Розміщувати таблиці слід так, щоб їх можна було читати без повороту рукопису; якщо це неможливо – таблицю розташовують так, щоб рукопис треба

було повернути за стрілкою годинника.

Вводити окрему графу «Одиниці вимірювання» не допускається. Позначення одиниць розміщують:

- у тематичному заголовку, якщо всі дані, які наведені у таблиці, мають одну одиницю вимірювання;
- у заголовках граф (колонок), відокремлюючи їх комою, якщо всі параметри у графі мають однакову одиницю вимірювання;
- у боковикі поряд з назвою параметра, відокремлюючи їх комою, якщо всі параметри у рядку мають одну одиницю виміру.

Текст, який повторюється у таблиці, та складається з одного слова, допускається замінювати лапками («»). Якщо текст, що повторюється, складається з двох або більше слів, то при першому повторі його замінюють словами «Те ж», а далі лапками. Ставити лапки замість цифр, знаків, марок, символів не допускається.

Якщо назва у боковикі записана у кілька рядків, то у сусідніх графах числові дані записують на рівні останнього рядка, а текстовий матеріал починають на рівні першого рядка. Якщо цифрові або інші дані у таблиці не наводять, то ставлять прочерк.

Цифри у графах розміщують так, щоб класи чисел були один під другим, а числові величини мали однакову кількість десяткових знаків.

Для скорочення тексту заголовків і підзаголовків граф таблиці, окремі поняття замінюють літерними позначеннями, якщо вони пояснені у тексті або наведені у ілюстраціях, наприклад: D – діаметр, L – довжина. Показники з однаковим літерним позначенням згруповують послідовно у порядку зростання індексів, наприклад D_1, D_2, D_3 тощо.

Таблиці за необхідності можуть бути наведені у змісті з зазначенням їх номерів, назв (якщо вони є) та номерів сторінок, на яких вони розміщені.

4.9 Переліки

Переліки, якщо потрібно, можуть бути наведені всередині пунктів або підпунктів. Перед переліком ставлять двокрапку.

Перед кожною позицією переліку слід ставити малу літеру української абетки з дужкою або, не нумеруючи, – дефіс (перший рівень деталізації).

Для подальшої деталізації переліку слід використовувати арабські цифри з дужкою (другий рівень деталізації). Наприклад:

- а) маса (вага);
- б) габаритні розміри:
 - 1) довжина;
 - 2) ширина;
 - 3) висота
- в) кількість.

Переліки першого рівня деталізації друкують малими літерами з абзацного відступу, другого – з відступом відносно місця розташування переліків першого рівня.

4.10 Примітки

Примітки вміщують у записці за необхідності пояснення змісту тексту, таблиці або ілюстрації, їх розташовують безпосередньо після тексту, таблиці, ілюстрацій, яких вони стосуються. У вступній частині розміщувати примітки не допускається.

Одну примітку не нумерують. Слово «Примітка» пишуть (друкують) з великої літери з абзацного відступу. Після слова «Примітка» ставлять крапку, та з великої літери у тому ж рядку подають текст примітки.

Приклад:

Примітка. _____

Декілька приміток нумерують послідовно арабськими цифрами з крапкою. Після слова «Примітки» ставлять двокрапку та з нового рядка з абзацу після номера примітки з великої літери подають текст примітки.

Приклад:

Примітки:

1. _____

2. _____

4.11 Формули та рівняння

Формули та рівняння розташовують безпосередньо після тексту, в якому вони згадуються, посередині рядка. Вище і нижче кожної формули або рівняння повинно бути залишено не менше одного вільного рядка.

Формули та рівняння у записі (за винятком формул і рівнянь, наведених у додатках) слід нумерувати порядковою нумерацією у межах розділу. Номер формули або рівняння складається з номера розділу та порядкового номера формули або рівняння, відокремлених крапкою, наприклад, формула (1.3) – третя формула першого розділу. Нумерувати слід лише ті формули, на які є посилання у наступному тексті. Інші нумерувати не рекомендується.

Номер формули або рівняння зазначають на рівні формули або рівняння у дужках у крайньому правому положенні на рядку. У разі, якщо номер формули не вміщується у рядку з формулою, його переносять у наступний рядок.

Пояснення значень символів і числових коефіцієнтів, що входять до формули чи рівняння, слід наводити безпосередньо під формулою у тій послідовності, в якій вони наведені у формулі чи рівнянні. Перший рядок починають з нового рядка словом «де» з абзацного відступу без двокрапки, наприклад:

Відомо, що втрати активної потужності, кВт, у трифазному шинопроводі у загальному випадку без врахування втрат у конструкціях, дорівнює

$$\Delta P_{\text{ш}} = (I_A^2 R_A + I_B^2 R_B + I_C^2 R_C) \cdot 10^{-3}, \quad (4.1)$$

де I_A , I_B , I_C – струми у фазах, А;

R_A , R_B , R_C – активний опір відповідних фаз, Ом.

Під час рівномірного навантаження фаз $I_A = I_B = I_C = I$ і однакових активних опорів фаз ($R_A = R_B = R_C = R$), з урахуванням коефіцієнту додаткових витрат ($k_{д.в}$) маємо:

$$\Delta P_{ш} = 3I^2 R k_{д.в} \cdot 10^{-3}, \quad (4.2)$$

Після пояснення символу наводять одиниці виміру, які використовуються у даній формулі. Найбільш часто вживані одиниці виміру:

- а) сила струму – А (ампер), кА (кілоампер);
- б) напруга – В (вольт), кВ (кіловольт);
- в) повна потужність – В·А (вольтампер), кВ·А (кіловольтампер), МВ·А (мегавольтампер);
- г) потужність активна – Вт (ват), кВт (кіловат), МВт (мегаватт);
- д) потужність реактивна – вар (вар), квар (кіловар), Мвар (мегавар);
- е) електричний опір – Ом (ом), МОм (міліом).

Якщо наводиться пояснення значень символів і числових коефіцієнтів після формули ставиться кома (,). У іншому випадку – ставлять крапку (.).

Підставлення значень у формули здійснюється після запису формули та пояснення величин, що входять у формулу чи рівняння.

Допускається не повторювати літерні позначення під час підставлення значень, якщо розрахунок йде безпосередньо після запису формули і її розшифровки.

Наприклад, номінальну величину струму $I_{ном}$ (А) двигуна можна розрахувати за формулою:

$$I_{ном} = \frac{P_{ном} \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3} U_{ном} \cos \varphi_{ном} \eta_{ном}}, \quad (4.3)$$

де $P_{ном}$ – номінальна потужність, кВт;

$U_{ном}$ – номінальна напруга, В;

$\cos \varphi_{ном}$ – номінальний коефіцієнт потужності, в.о.;

$\eta_{\text{ном}}$ – номінальний коефіцієнт корисної дії, в.о.

Підставивши у формулу відповідні значення отримаємо величину номінального струму:

$$I_{\text{ном}} = \frac{109,5 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,57 \cdot 0,88} = 331,67 \text{ А.}$$

Переносити формули чи рівняння на наступний рядок допускається тільки на знаках виконуваних операцій, повторюючи знак операції на початку наступного рядка. Таким чином, якщо рівняння не вміщується в один рядок, його слід перенести після знака рівності (=) або після знаків плюс (+), мінус (-), множення (x) і ділення (:).

Формули, що йдуть одна за одною і не розділені текстом, відокремлюють комою, а після останньої ставлять крапку.

Наприклад:

$$I'' = I_{nt} = I_{\infty} = \frac{I_{\delta}}{\sqrt{r_{\Sigma}^2 + x_{\Sigma}^2}}, \quad (4.4)$$

$$I'' = \frac{I_{\delta}}{z_{\Sigma}^2}, \quad (4.5)$$

Якщо у записі тільки одна формула чи рівняння, їх також нумерують за наведеними вимогами.

4.12 Оформлення переліку джерел посилання

Перелік джерел посилання – елемент бібліографічного апарату, який містить бібліографічні описи використаних джерел і розміщується основної частини.

Бібліографічний опис використаних джерел складають безпосередньо за друкованим текстом або виписують з каталогів і бібліографічних покажчиків повністю без пропусків будь-яких елементів, скорочення назв тощо. Завдяки цьому можна уникнути повторних перевірок, вставок пропущених відомостей.

Джерела можна розміщувати у такий спосіб: за порядком появи посилань у тексті (найбільш зручний для користування та рекомендований при написанні курсового проєкту), в алфавітному порядку прізвищ перших авторів або заголовків, у хронологічному порядку.

Відомості про джерела, які включені до списку, необхідно подавати відповідно до вимог державного стандарту з обов'язковим наведенням назв праць. Зокрема потрібну інформацію щодо згаданих вимог можна одержати із таких стандартів: ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання».

Приклад оформлення переліку використаних джерел наведено у додатку В.

4.13 Посилання

Бібліографічні описи у переліку посилань подають у порядку, за яким вони вперше згадуються у тексті. Порядкові номери описів у переліку є посиланнями у тексті (номер посилання).

У відповідних місцях тексту повинні бути посилання, які оформлюються у квадратні дужки, наприклад: «... згідно з методикою розрахунку, описаною в [6], отримуємо ...», «... згідно з таблицею 10.1 [4] ...».

Посилання у тексті записки на джерела слід зазначити порядковим номером за переліком посилань, виділеним двома квадратними дужками, наприклад: «...у роботах [1–5]...».

При посиланнях на розділи, підрозділи, пункти, підпункти, ілюстрації, таблиці, формули, рівняння, додатки пояснювальної записки зазначають їх номери. Приклади запису посилань: «... у розділі 4 ...», «... дивись 2.1 ...», «... за 3.3.4 ...», «...відповідно до 2.3.4.1 ...», «... на рис. 1.3 ...» або «...на рисунку 1.3 ...», «... у таблиці 3.2 ...», «... за формулою (3.1) ...», «...у рівняннях (1.23)–(1.25) ...», «... у додатку Б ...».

4.14 Оформлення додатків

Додатки оформлюють як продовження документа. При цьому додатки повинні мати наскрізну нумерацію сторінок, загальну з документом. Всі додатки повинні бути перераховані у змісті. Розташування додатків повинно бути за порядком появи посилань на них у тексті.

Кожен додаток (якщо їх кілька) починають з нової сторінки. Додаток повинен мати заголовок, написаний (надрукований) вгорі малими літерами (крім першої великої) симетрично відносно тексту сторінки. Посередині рядка над заголовком малими літерами з першої великої повинно бути надруковано слово «Додаток __» і велика літера, що його позначає.

Додатки слід позначати послідовно літерами української абетки, за винятком літер «Г, Є, З, І, Ї, Й, О, Ч, Ъ» наприклад: додаток А, додаток Б і т.д. Якщо в пояснювальній записці один додаток, він позначається як додаток А.

За необхідності текст додатків може поділятися на розділи, підрозділи, пункти та підпункти, які слід нумерувати у межах кожного додатку. У такому випадку перед кожним номером ставлять позначення додатку (літеру) та крапку (див. додаток Г, рис. Г.1).

Ілюстрації, таблиці, формули та рівняння, що є у тексті додатку, слід нумерувати у межах кожного додатку, наприклад: рисунок Б.3 – третій рисунок додатку Б; таблиця А.2 – друга таблиця додатку А; формула (А.1) – перша формула додатку А.

Якщо у додатку одна ілюстрація, одна таблиця, одна формула чи одне рівняння, їх також нумерують, наприклад: рисунок А.1, таблиця А.1, формула (В.1).

У посиланнях у тексті додатку на ілюстрації, таблиці, формули, рівняння, рекомендується писати: «... на рисунку А.2 ...», «... у таблиці Б.3 ...», «... за формулою (В.1) ...», «... у рівнянні (Г.2) ...».

Джерела, що використовуються тільки у додатках, розглядаються незалежно від тих, що використовуються у основній частині роботи, та повинні бути перелічені наприкінці кожного додатку у переліку посилань.

4.15 Скорочення та власні назви

Скорочення слів у тексті та підписах під ілюстраціями, як правило, не допускається. Виключеннями є загальноприйняті скорочення: у кінці фрази – і т.д. (і так далі), і т.п. (і тому подібне), і т.ін. (і таке інше), і ін. (і інше); при посиланнях – див. (дивись), табл. (таблиця), рис. (рисунок), ст. (сторінка), п. (пункт), пп. (пункти), розд. (розділ, розділи), р. (рік), рр. (роки).

Не допускається скорочувати слова, якщо під час використання цих скорочень можливе різне розуміння тексту.

Дозволяється використовувати скорочення слів і словосполучень, характерних для певної галузі або області діяльності. Записують такі скорочення безпосередньо у тексті (у дужках після повної назви або під час першого входження у текст), наприклад: повітряна лінія (ПЛ).

Непотрібно скорочувати слова і словосполучення: графа, рівняння, формула, так як, наприклад, таким чином, тобто, так званий.

У тексті не допускається скорочення позначення одиниць фізичних величин, якщо вони використовуються без цифр, за виключенням одиниць фізичних величин у заголовках таблиць і у розшифровках літерних позначень, що входять до формул.

Слова *maximum*, *minimum* і номінальний бажано використовувати у скороченому вигляді для індексів (*max*, *min* і *ном*). У тексті необхідно писати максимум, мінімум і номінальний.

Прізвища, назви установ, організацій, фірм та інші власні назви у записці наводять мовою оригіналу.

Для виконавця записують ім'я (або першу літеру імені з крапкою) та прізвище (за бажанням автора після імені вказують по батькові). Для керівника курсового проєкту при наявності у відповідних графах місця записують вчений ступінь, вчене звання, ім'я (або перша літера імені з крапкою) та прізвище.

4.16 Числа та знаки

Після цифрових величин повинні ставитись умовні позначення одиниць вимірювання, а у тексті, навпаки, їх повні назви: 17,5 кг, але «кілька кілограмів». Не можна поєднувати текст з умовними та математичними позначеннями, наприклад, не « t° нагріву», а «температура нагріву»; не «швидкість = 5 м/с», а «швидкість дорівнює 5 м/с».

У тексті не допускається використовувати без числових або літерних значень:

- математичні символи та знаки: Log, Lg, Ln (логарифм), sin, cos, tg, ctg (тригонометричні функції), 0 (нуль), = (дорівнює), $\neq$ (не дорівнює), $\geq$ (більше або рівне), $\leq$ (менше або дорівнює) тощо.
- знаки: № (номер), % (відсоток), $^{\circ}$ (градус), Ø (діаметр) і ін.

У тексті пишуть словами «нуль», «номер» тощо. Знаки №, % та ін. при позначенні множини числа не подвоюються.

Не допускається ставити тире перед цифровими величинами, щоб не плутати його зі знаком мінус. Замість цього знаку для величин, що мають від'ємне значення, писати слово «мінус».

Числа до дев'яти без розмірності потрібно писати у тексті словами, понад дев'ять цифрами (наприклад, «три криві», «10 значень»); числа з розмірністю пишуться цифрами, а без розмірності – словами, наприклад, «відстань – не більше 2 м»; «котушку перевірити два рази».

Порядкові числівники пишуть цифрами з родовими закінченнями (наприклад, «9-й день»). При декількох порядкових числівниках закінчення узгоджується з останнім з них (наприклад, «3, 4, 5-й графіки»).

Кількісні числівники пишуться без закінчень, наприклад, «у 20 випадках», «на 10 аркушах». Не допускаються також закінчення в датах (наприклад, «21 квітня»).

У проєкті необхідно використовувати одиниці системи SI. Якщо виміри проводяться в інших одиницях, переведення їх в одиниці SI обов'язкове.

Елементи дати можуть бути оформлені у словесно-цифровому варіанті

(наприклад, 29 січня 1993 року) або арабськими цифрами у рядок у такій послідовності: рік, місяць, число (наприклад, дату 1 жовтня 1993 року слід оформлювати так: 1993.10.01. або 93.10.01).

5 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

5.1 Розрахунок електричних навантажень

5.1.1 Розрахунок електричних навантажень цеху промислового об'єкту

Метод коефіцієнта розрахункового навантаження (згідно з ДСТУ-Н Б В.2.5-80:2015) є універсальним, але і є більш трудомістким.

Залежно від місця розміщення розрахункового вузла на схемі СЕП підприємства узагальнено виділяють сім або шість рівнів (рис. 5.1):

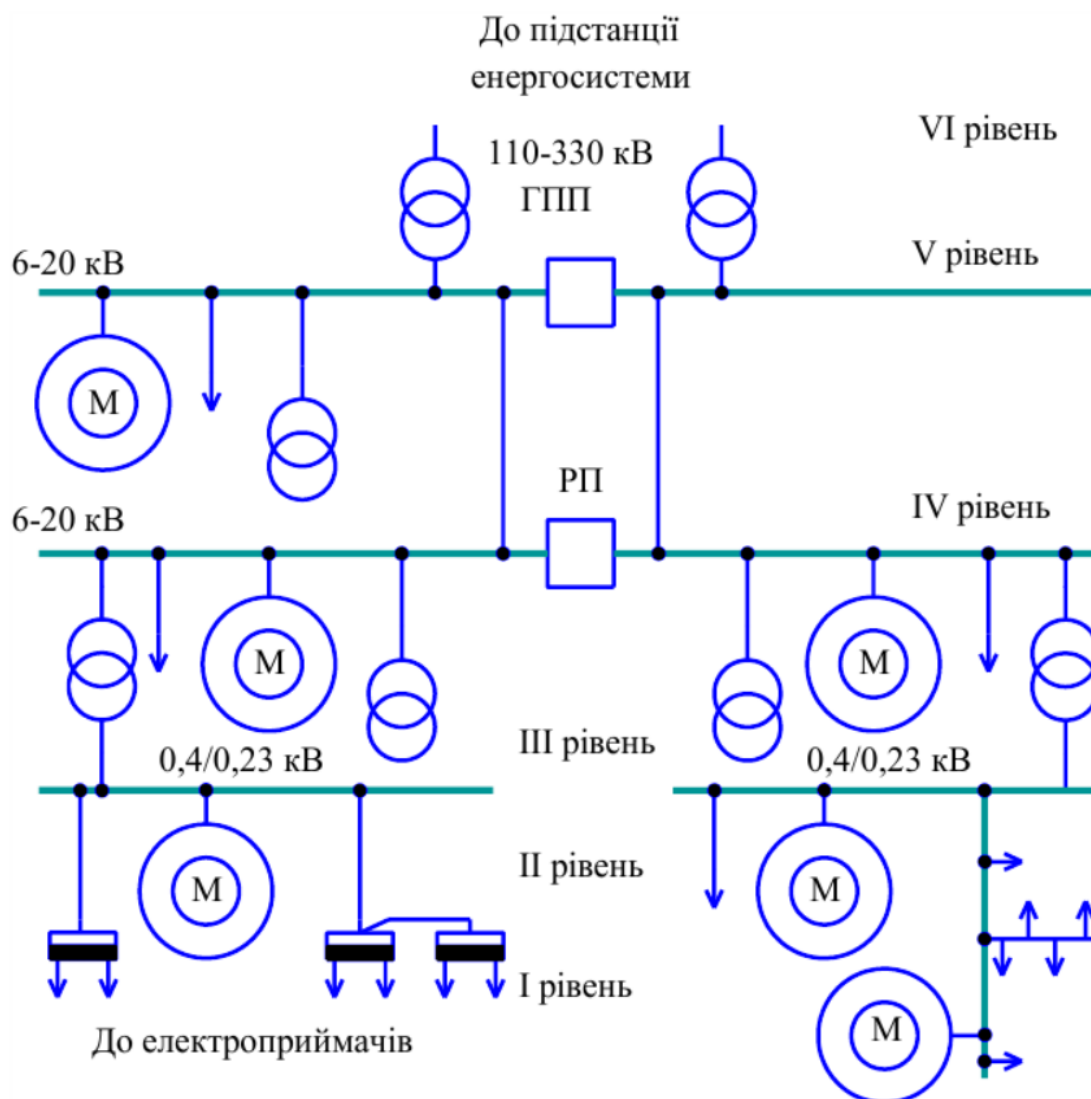


Рисунок 5.1 – Структура СЕП промислового підприємства

— I
рівень – електричні мережі напругою до 1 кВ, що приєднують окремі ЕП до розподільних пристроїв (силових розподільних шаф, ящиків, шинопроводів розподільних алюмінієвих та ін.);

— II
рівень – електричні мережі напругою до 1 кВ, що приєднують розподільні пристрої першого рівня до збірних шин низької напруги цехових ТП або магістральних шинопроводів алюмінієвих;

— III
рівень – збірні шини низької напруги цехових ТП і магістральних шинопроводів алюмінієвих;

— I
V рівень – збірні шини РП напругою 6–20 кВ;

— V
рівень – збірні шини головних понижувальних підстанцій, підстанцій глибокого вводу або центрального РП напругою 6–20 кВ;

— V
I рівень – межа розподілу балансової належності електричних мереж енергосистеми й промислового підприємства.

Залежно від рівня найчастіше використовують такі методи визначення розрахункових навантажень:

— Д
ля I та II рівнів – установленої потужності й коефіцієнта попиту, питомих витрат електроенергії на одиницю продукції або роботи, питомої потужності на одиницю промислової площі, упорядкованих діаграм;

ля III–VI рівнів – за середньою потужністю та коефіцієнтом форми графіка навантаження, за середньою потужністю та коефіцієнтом максимуму навантаження, за середньою потужністю та середньоквадратичним відхиленням (статистичний метод).

Початковими даними для виконання розрахунків згідно з методом коефіцієнта розрахункового навантаження є кількість ЕП n та номінальна потужність p_n кожного з них.

На практиці ці дані отримують у вигляді таблиць-завдань від технологів, сантехніків, тепловиків та інших суміжних підрозділів.

Усі робочі ЕП групуються за певними категоріями. Резервні ЕП (ремонтні зварювальні трансформатори, насоси, вентилятори й ін.), а також ті ЕП, що працюють лише в аварійних режимах або короткочасно (пожежні насоси, засувки, шлюзи та ін.) при розрахунках, як правило, не використовуються. Винятком можуть бути ті випадки, коли потужність цих ЕП суттєво впливає на вибір елементів СЕП.

При визначенні p_n для багатодвигунових приводів враховуються всі одночасно працюючі електродвигуни даного привода.

Для ЕП із повторно-короткочасним режимом роботи їх номінальна потужність розраховується

$$p_n = p_{\text{вст}} \sqrt{\text{ПВ}},$$

де $p_{\text{вст}}$ – встановлена потужність ЕП з повторно-короткочасним режимом роботи, кВт;

ПВ – повторність включення, %.

При включенні однофазного ЕП на фазну напругу він враховується як еквівалентний трифазний ЕП із номінальною потужністю, що дорівнює:

$$p_H = 3p_{H.O}, \quad q_H = 3q_{H.O},$$

де $p_{H.O}$, $q_{H.O}$ – активна та реактивна потужність однофазного ЕП.

При включенні однофазного ЕП на лінійну напругу він враховується як еквівалентний ЕП із номінальною потужністю, що дорівнює:

$$p_H = \sqrt{3}p_{H.O}, \quad q_H = \sqrt{3}q_{H.O}.$$

У разі наявності групи однофазних ЕП, які включено за фазами з нерівномірністю не вище ніж 15 % відносно до загальної потужності (трифазних і однофазних ЕП у групі), вони можуть бути подані в розрахунках як еквівалентна група трифазних ЕП із тією самою сумарною номінальною потужністю.

Визначення розрахункових навантажень згідно з цим методом виконується у такій *послідовності*:

1) За

таблицею 1 довідкових даних визначаються коефіцієнти використання k_v для кожного ЕП.

2) За

таблицею 1 довідкових даних визначаються коефіцієнти потужності $\cos\varphi$ та знаходяться відповідні їм значення $\tan\varphi$ для ЕП.

3) В

сі ЕП незалежно від їх номінальної потужності групуються за характерними категоріями. У межах кожної категорії всі ЕП мають однакові значення коефіцієнтів використання k_v та коефіцієнтів потужності $\cos\varphi$.

4)

Розраховуються загальні (встановлені) активні номінальні потужності ЕП однакових категорій, а також загальні активні потужності ЕП, що підключено до певного розподільного пристрою (СП)

$$P_H = \sum_1^k p_H,$$

де k – кількість ЕП у групі.

5) Ф

іксується найменша $p_{H.min}$ та найбільша $p_{H.max}$ номінальна потужність одиничного ЕП для кожного з розподільних пристроїв (СП) та розраховується наступне співвідношення

$$m = \frac{p_{H.max}}{p_{H.min}}.$$

6)

Р

озраховуються активні проміжні потужності, що використовуються

$$P_{\Pi} = k_{\text{в}} P_{\text{н}} = k_{\text{в}} \sum_1^k p_{\text{н}}.$$

7)

Р

озраховуються реактивні проміжні потужності, що використовуються

$$Q_{\Pi} = P_{\Pi} \operatorname{tg} \varphi = k_{\text{в}} P_{\text{н}} \operatorname{tg} \varphi = k_{\text{в}} \sum_1^k p_{\text{н}} \operatorname{tg} \varphi.$$

8)

Р

озраховується ефективна кількість ЕП, що підключені до кожного з розподільних пристроїв (СП). Ефективна кількість ЕП $n_{\text{е}}$ – це така кількість однорідних за режимом роботи ЕП однакової потужності, яка зумовлює таке саме значення розрахункового навантаження, що і група різних за потужністю ЕП. Розрахункове (попереднє) значення ефективної кількості ЕП $n_{\text{р.е}}$ визначається (для $n < 10$)

$$n_{\text{р.е}} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n p_{\text{н}i} \right)^2}{\sum_{i=1}^n p_{\text{н}i}^2},$$

де n – дійсна кількість ЕП, що підключена до кожного з розподільних пристроїв (СП).

При значній кількості ЕП ($n \geq 10$) розрахункове (попереднє) значення ефективної кількості ЕП може бути визначеною за спрощеною формулою

$$n_{\text{р.е}} = \frac{2 \sum P_{\text{н}}}{P_{\text{н.мак}}}.$$

Значення (остаточне) ефективної кількості ЕП $n_{\text{е}}$ приймається виходячи з наступних умов:

$$- \quad \text{якщо } m = \frac{P_{\text{н.мак}}}{P_{\text{н.мін}}} \leq 3, \text{ то вважають, що } n_{\text{е}} = n;$$

- якщо $m = \frac{P_{H.\max}}{P_{H.\min}} > 3$ та $n_{p.e} \geq n$, то вважають, що $n_e = n$;
- якщо $m = \frac{P_{H.\max}}{P_{H.\min}} > 3$ та $n_{p.e} < n$, то вважають, що n_e

приймають отримане значення $n_{p.e}$ округлене до найменшого цілого.

9)

Р

озраховуються групові коефіцієнти використання K_B для кожного з розподільних пристроїв структурного підрозділу (дільниці, цеху) або підприємства

$$K_B = \frac{\sum P_{\Pi}}{\sum P_H}, \text{ або } K_B = \frac{\sum_{k_B}^n k_B P_H}{\sum_{1}^n P_H}.$$

10)

За

таблицею 2 довідкових даних (розподільні силові пункти СП (рівень 2 на рис. 5.1)) та/або за таблицею 3 довідкових даних (збірні шини ТП і магістральні шинопроводи (рівень 3 на рис. 5.1), а також при визначення навантаження в цілому по цеху, корпусу) визначається величини коефіцієнту розрахункового навантаження K_p , який у свою чергу залежить від коефіцієнта використання K_B й ефективної кількості ЕП n_e .

11)

В

изначається розрахункова активна потужність за формулою

$$P_p = K_p \sum P_{\Pi}.$$

12)

В

изначається розрахункова реактивна потужність для:

зподільних силових пунктів СП (рівень 2 на рис. 5.1):

$$\begin{aligned} \text{якщо } n_e \leq 10, \text{ то } Q_p &= 1,1 \sum Q_{\Pi}, \\ \text{якщо } n_e > 10, \text{ то } Q_p &= \sum Q_{\Pi}. \end{aligned}$$

зб

ірних шин ТП і магістральних шинопроводів (рівень 3 на рис. 5.1), а також при визначення навантаження в цілому по цеху, корпусу:

$$Q_p = K_p \sum Q_{\Pi}.$$

На даному етапі до отриманих значень активної та реактивної потужностей силових ЕП напругою до 1 кВ мають бути додані розрахункові навантаження освітлювальної мережі $P_{p,0}$ та $Q_{p,0}$ (якщо вони є згідно із завданням) (розрахунок освітлювального навантаження наведено нижче).

13)

В

изначається розрахункова повна потужність:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}.$$

14)

В

изначається величина розрахункового струму, за якою вибирається переріз провідників за допустимим нагріванням

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_n}.$$

Як правило, визначення розрахункових навантажень виконується у вигляді таблиці встановленої форми Ф636-92 (таблиця 4 довідкових даних).

Визначення освітлювальних навантажень виконується після повного світлотехнічного розрахунку, вибору типу та кількості світильників. Це предмет спеціального розгляду.

Водночас, із метою спрощення на всіх етапах проєктування, дозволяється замість повного розрахунку користуватися таблицями питомої потужності. При цьому враховується площа приміщення, його висота, точність виконуваної роботи, характер відбивання поверхонь.

Послідовність визначення розрахункового навантаження освітлення за питомою потужністю така:

- а) визначають розряд роботи за точністю; вибирають систему освітлення; вибирають тип джерела світла; вибирають освітлювальну арматуру; визначають необхідну освітленість;
- б) визначають питому потужність освітлення;
- в) визначають розрахункову потужність за методом коефіцієнта попиту з урахуванням втрат потужності в пускорегулювальній апаратурі.

Примітки:

1. Розряд роботи за точністю залежить від мінімального розміру об'єкта, який необхідно розрізнити. Роботи найвищої точності (коли необхідно розрізнити об'єкти розміром до 0,15 мм) відносять до І розряду.

2. Під час проєктування електричного освітлення приміщень використовують: систему загального освітлення з рівномірним або локалізованим розміщенням світильників; систему комбінованого освітлення, яка складається з загального та місцевого освітлення. Вибір системи освітлення залежить від характеру виробництва.

3. Необхідну освітленість визначають за розрядом роботи, в залежності від вибраної системи освітлення та типу світильників, з таблиць і з урахуванням коефіцієнта запасу для випадку запилених, задимлених приміщень. Освітленість аварійного освітлення нормується на рівні 0,5 лк.

4. Після цього, за таблицями, знаходять питому потужність освітлення, $P_{п.о}$.

5. Розрахункову потужність освітлення визначають за формулою

$$P_{р.о} = K_{п.о} K_{пра} P_{п.о} F ,$$

де $K_{п.о}$ – коефіцієнт попиту освітлювального навантаження;

$K_{пра}$ – коефіцієнт втрат потужності в пускорегулювальній апаратурі;

F – площа приміщення.

Коефіцієнти $K_{п.о}$ та $K_{пра}$ складають:

$$K_{п.о} = \begin{cases} 0,95 - \text{великі виробничі приміщення;} \\ 0,8 - \text{порівняно невеликі виробничі приміщення;} \\ 0,6 - \text{склади, підстанції;} \\ 1 - \text{аварійне освітлення;} \end{cases}$$

$$K_{пра} = \begin{cases} 1,1 - \text{дугорозрядні лампи;} \\ 1,2 - \text{люмінісцентні стартерні;} \\ 1,3 - 1,35 - \text{люмінісцентні безстартерні.} \end{cases}$$

Розрахункові потужності лінії, що живить силове й освітлювальне навантаження, знаходять за виразами:

$$P_p = P_{p.c} + P_{p.o}, \quad Q_p = Q_{p.c} + Q_{p.o}, \quad S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}.$$

Втрати активної $\Delta P_{тПj}$ (кВт) та реактивної $\Delta Q_{тПj}$ (квар) потужностей у трансформаторах можна орієнтовно оцінити за виразами:

$$\Delta P_{тПj} = 0,025 S_{p.6(10)Пj}, \quad \Delta Q_{тПj} = 0,1 S_{p.6(10)Пj},$$

де повна потужність $S_{p.6(10)Пj}$ j -ї ТП знаходять наступним чином

$$S_{p.6(10)Пj} = \sqrt{P_{p.6(10)Пj}^2 + Q_{p.6(10)Пj}^2}.$$

5.1.2 Розрахунок електричних навантажень житлових і громадських будинків

Основою для визначення розрахункових навантажень в СЕП міст є вимоги, які представлено у ДБН В.2.5-23:2010. Розрахунок може вестися щодо

окремих стояків будинків (1), введів у будівлі (2), ліній НН (3), шин НН ТП (4), розподільних ліній (5), а також шин РП (6) і ЦЖ (7) (рис. 5.2). Умовну структуру СЕП міста наведено на рис. 5.2.

Умовно всіх споживачів міста можна розділити на:

- житлові будинки; ж
- громадські й адміністративні будівлі, комунальні та дрібно-промислові об'єкти. гр

У свою чергу квартири в житлових будинках умовно поділяються на:

1. Квартири, в яких загальна площа становить 35–95 м² і сумарна встановлена потужність ЕП не перевищує 30 кВт;
2. Квартири в багатоповерхових будинках площею від 100 до 350 м² при встановленій потужності ЕП 30–60 кВт;

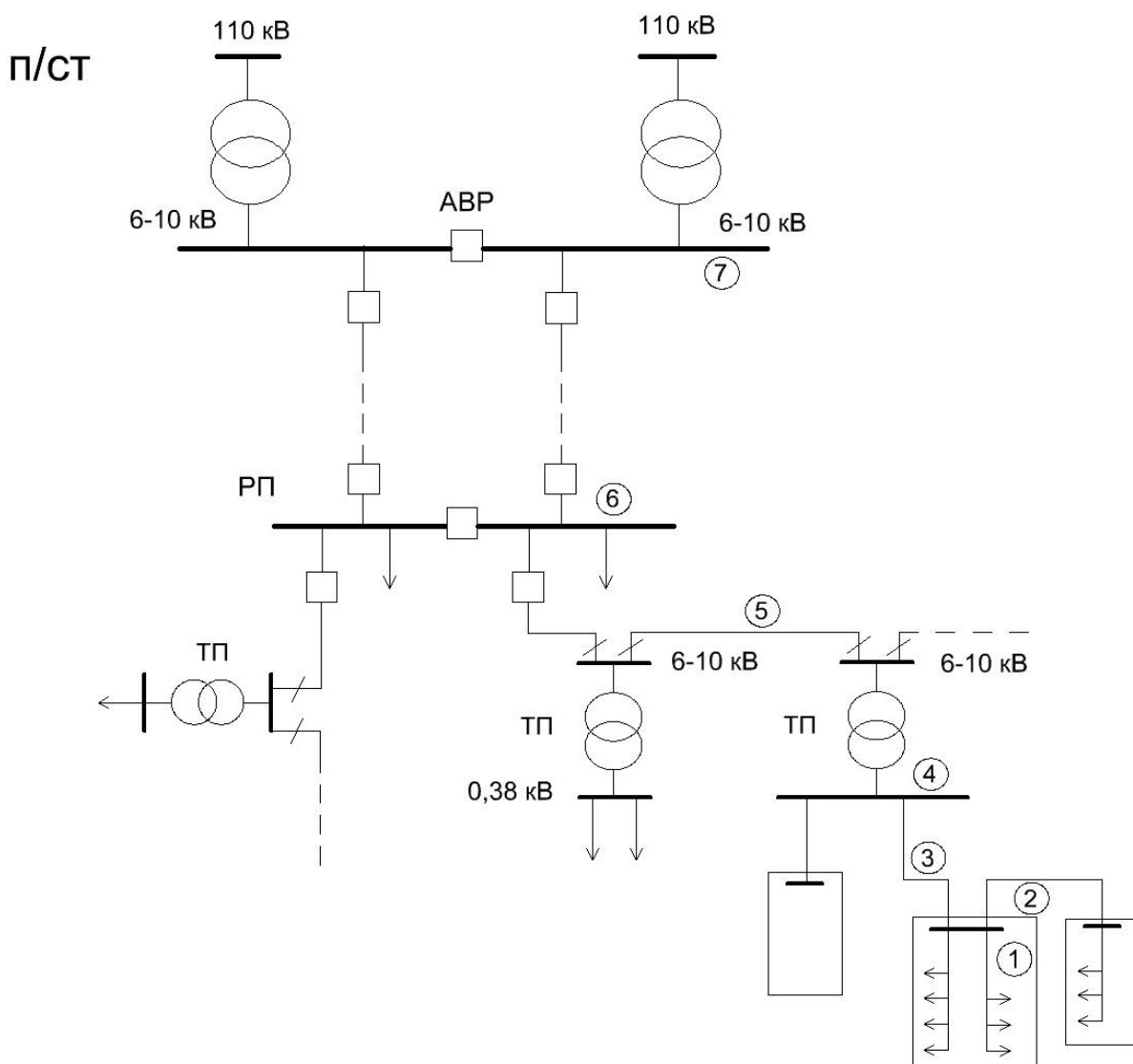


Рисунок 5.2 – Структура СЕСП міста

3. Квартири в котеджах і малоповерхових будинках, переважно розраховані на одну сім'ю площею від 150 до 600 м². При цьому встановлена потужність ЕП знаходиться у діапазоні 60–140 кВт.

Для квартир першого виду передбачена диференціація за 5-а рівнями електрифікації (в основному, у залежності від характеру їжеприготування) і відповідних їм значень питомих навантажень:

- 1) квартири з плитами на природному газі;
- 2) квартири з плитами на скрапленому газі;
- 3) квартири з електроплитами потужністю до 8,5 кВт;
- 4) квартири з електроплитами потужністю до 10,5 кВт;
- 5) споруди на садових ділянках.

Для квартир другого виду встановлено два рівня електрифікації та відповідних їм значень питомого навантаження:

- 1) кВ
квартири з плитами на природному газі;
- 2) кВ
квартири з електроплитами потужністю до 10,5 кВт.

Розрахункове навантаження групи однотипних квартир першого та другого виду, приведене до живлячої внутрішньобудинкової лінії (стояку будинку), вводу в будівлю, низьковольтної лінії, шин НН ТП (розрахункові точки 1, 2, 3, 4 на рис. 5.2) визначається за формулою:

$$P_{\text{кв}} = p_{\text{кв.пит}} N_{\text{кв}}, \quad Q_{\text{кв}} = P_{\text{кв}} \operatorname{tg} \varphi_{\text{кв}},$$

де $p_{\text{кв.пит}}$ – питоме навантаження квартири, що залежить від рівня електрифікації, виду їжеприготування, кількості квартир, які живляться від даної точки, і визначається відповідно до таблиці 5 довідкових даних та/або таблиці 3.1 [ДБН В.2.5-23:2010];

$N_{\text{кв}}$ – кількість квартир, які живляться від розглянутого елемента СЕП;

$\operatorname{tg} \varphi_{\text{кв}}$ – коефіцієнт реактивного навантаження квартир, визначається відповідно до таблиці 8 довідкових даних та/або таблиці 3.6 [ДБН В.2.5-23:2010].

При цьому наведені питомі навантаження враховують можливість установки в квартирах побутових кондиціонерів і електричних додаткових нагрівачів води з розрахунку 60–120 Вт на 1 м².

Для квартир третього виду розрахункове навантаження визначається на основі проекту електропостачання з урахуванням всього встановленого електроустаткування. У цьому випадку

$$P_{\text{кот}} = P_{\text{н}} K_{\text{п}}, \quad Q_{\text{кот}} = P_{\text{кот}} \operatorname{tg} \varphi_{\text{кот}},$$

де P_H – сумарна номінальна потужність, що встановлюються відповідно до проекту електропобутових і освітлювальних приладів, систем електроопалення й електроводопідігріву;

K_H – коефіцієнт попиту, який визначається відповідно до таблиці 3.2 [ДБН В.2.5-23:2010];

$\text{tg}\varphi_{\text{кот}}$ – коефіцієнт реактивного навантаження квартир (котеджів), визначається відповідно до таблиці 8 довідкових даних та/або таблиці 3.6 [ДБН В.2.5-23:2010].

Розрахункове навантаження низьковольтних ліній або приведене до шин НН ТП, що живлять житлові будівлі (квартири) третього виду, визначається наступним чином:

$$P_{\text{кот.р}} = P_{\text{кот}} N_{\text{кот}} K_o, \quad Q_{\text{кот.р}} = P_{\text{кот.р}} \text{tg}\varphi_{\text{кот}},$$

де $P_{\text{кот}}$ – розрахункове навантаження котеджу;

$N_{\text{кот}}$ – кількість котеджів приєднаних до розглянутого елементу мережі;

K_o – коефіцієнт одночасності, який визначається згідно таблиці 3.3 [ДБН В.2.5-23:2010];

$\text{tg}\varphi_{\text{кот}}$ – коефіцієнт реактивного навантаження квартир (котеджів), визначається відповідно до таблиці 8 довідкових даних та/або таблиці 3.6 [ДБН В.2.5-23:2010].

У житлових будинках в якості силових ЕП розглядаються ліфтові установки та сантехнічне обладнання. Розрахункове навантаження силових ЕП, приведене до вводу в будинок, низьковольтної лінії, шин НН ТП (розрахункові точки 2, 3, 4 на рис. 5.2) визначається за формулою:

$$P_{\text{сил}} = K_{\text{п.л}} \sum_{i=1}^k p_{\text{лі}i} + K_{\text{п.сан}} \sum_{j=1}^m p_{\text{сан}j},$$

$$Q_{\text{сил}} = K_{\text{п.л}} \sum_{i=1}^k p_{\text{лі}i} \text{tg}\varphi_{\text{л}} + K_{\text{п.сан}} \sum_{j=1}^m p_{\text{сан}j} \text{tg}\varphi_{\text{сан}},$$

де $K_{п.л}$ – коефіцієнт попиту для ліфтів, значення якого наведено в таблиці 7 довідкових даних та/або таблиці 3.5 [ДБН В.2.5-23:2010];

$p_{л}$ – встановлена потужність ліфтів, кВт, береться з паспорту ліфтової установки або з таблиці 5.1;

k – загальна кількість ліфтів;

$\text{tg}\varphi_{л}$ – коефіцієнт реактивного навантаження ліфтів, визначається відповідно до таблиці 8 довідкових даних та/або таблиці 3.6 [ДБН В.2.5-23:2010];

$K_{п.сан}$ – коефіцієнт попиту для сантехнічних установок, значення якого наведено в таблиці 24 довідкових даних та/або в таблиці 3.11 [ДБН В.2.5-23:2010];

$p_{сан}$ – встановлена потужність двигунів сантехнічних установок, кВт, береться з паспорту сантехнічної установки;

m – загальна кількість ліфтів;

$\text{tg}\varphi_{сан}$ – коефіцієнт реактивного навантаження двигунів сантехнічних установок, визначається відповідно до таблиці 8 довідкових даних та/або таблиці 3.6 [ДБН В.2.5-23:2010].

Таблиця 5.1 – Номінальні потужності ліфтових установок та їх кількість на секцію (під'їзд) з ДСТУ ISO 4190-6-2001

Кількість поверхів	Пасажирський ліфт	Вантажний ліфт
до 5(6)-и поверхів	-	-
7-11 поверхів	один ліфт на секцію $p_{н.л}=6\div 6,5$ кВт	-
12-16 поверхів	один ліфт на секцію $p_{н.л}=6\div 6,5$ кВт	один ліфт на секцію $p_{н.л}=9\div 9,5$ кВт
17-24 поверхи	один ліфт на секцію $p_{н.л}=6\div 6,5$ кВт	два ліфти на секцію $p_{н.л}=9\div 9,5$ кВт

При визначенні розрахункового навантаження силових ЕП потужність резервних двигунів не враховується за винятком тих випадків, коли вони визначають вибір захисних апаратів і переріз провідників.

Розрахункове навантаження житлового будинку в цілому обчислюється таким чином:

$$P_{ж.б} = P_{кв} + 0,9P_{сил} + K_{с.мах} \sum_{i=1}^n P_{вбi},$$

$$Q_{ж.б} = Q_{кв} + 0,9Q_{сил} + K_{с.мах} \sum_{i=1}^n Q_{вбi} =$$

$$= P_{кв} \operatorname{tg}\varphi_{кв} + 0,9P_{сил} \operatorname{tg}\varphi_{сил} + K_{с.мах} \sum_{i=1}^n P_{вбi} \operatorname{tg}\varphi_{вбi},$$

де $P_{кв}$ – розрахункове навантаження квартир;

$P_{сил}$ – розрахункове навантаження силових ЕП;

$P_{вб}$ – розрахункове навантаження вбудованих приміщень (аптека, перукарня, магазин), визначення якого розглядається нижче;

$K_{с.мах}$ – коефіцієнт суміщення максимумів, визначення якого розглядається нижче.

Орієнтовні розрахункові навантаження громадських і адміністративних будівель допускається знаходити за спрощеними питомими показниками $P_{пит.гр.б}$ (наприклад, для громадської будівлі), наведеними у таблиці 6 довідкових даних та/або таблиці 3.15 [ДБН В.2.5-23:2010].

У цьому випадку

$$P_{гр.б} = p_{пит.гр.б} N_{гр.б}, \quad Q_{гр.б} = P_{гр.б} \operatorname{tg}\varphi_{гр.б},$$

де $N_{гр.б}$ – відповідна характеристика об'єкта (наприклад, m^2 , кількість відвідувачів, кількість учнів, кількість посадкових місць);

$\operatorname{tg}\varphi_{гр.б}$ – коефіцієнт реактивного навантаження об'єкта (наприклад, для громадської будівлі), наведено у таблиці 6 довідкових даних та/або таблиці 3.15 [ДБН В.2.5-23:2010].

5.1.3 Визначення розрахункових навантажень на вищих ієрархічних рівнях систем електропостачання

У разі спільного електропостачання різних об'єктів загальною кількістю n , розрахункове навантаження низьковольтних ліній або приведене до шин НН ТП (розрахункова точка 4 на рис. 5.2) визначається за формулою:

$$P_{\text{ТПр}} = P_{\text{р.мах}} + \sum_{i=1}^{n-1} P_{\text{pi}} K_{\text{с.мах}i}, \quad Q_{\text{ТПр}} = Q_{\text{р.мах}} + \sum_{i=1}^{n-1} Q_{\text{pi}} K_{\text{с.мах}i},$$

де $P_{\text{р.мах}}$, $Q_{\text{р.мах}}$ – найбільше з розрахункових активних і реактивних навантажень відповідно серед об'єктів, які живляться від даної точки мережі;

P_{pi} , Q_{pi} – розрахункове активне та реактивне навантаження відповідного інших i -х будівель;

$K_{\text{с.мах}i}$ – коефіцієнт суміщення максимумів, який відображає якою часткою навантаження i -го житлового будинку або громадської будівлі беруть участь в найбільшому розрахунковому навантаженні, та визначається відповідно до таблиці 11 довідкових даних та/або таблиці 3.14 [ДБН В.2.5-23:2010].

!!!

*Важливо підкреслити, що по відношенню до лінії низької напруги або до шин НН ТП, житлові будинки з **однотипним** їжеприготуванням розглядаються як один споживач із сумарною кількістю квартир, ліфтових установок і сантехнічного обладнання. У той же час житлові будинки з газовими плитами й електроплитами розглядаються як різні об'єкти.*

Розрахункове навантаження розподільних ліній 6–10 кВ (розрахункові точки 5, 6 на рис. 5.2) визначається множенням суми розрахункових навантажень окремих ТП на коефіцієнт $K_{\text{см}}$, що враховує суміщення їх

максимумів, який залежить від кількості ТП, що живляться від розглянутої ділянки розподільної лінії:

$$P_{p.pм} = K_{cm} \sum_{i=1}^n P_{p.ТПi}, \quad Q_{p.pм} = K_{cm} \sum_{i=1}^n Q_{p.ТПi}.$$

При цьому коефіцієнт K_{cm} визначається відповідно до даних таблиці 9 довідкових даних.

Розрахункове навантаження на шинах ЦЖ (підстанції) (розрахункова точка 7 на рис. 5.2) обчислюють з урахуванням розбіжності (суміщення) максимумів навантажень комунально-побутових і промислових споживачів:

$$P_{p.ЦЖ} = K_{cm} \sum_{i=1}^m P_{p.ТПi}, \quad Q_{p.ЦЖ} = K_{cm} \sum_{i=1}^m Q_{p.ТПi}.$$

Проте, у даному випадку для визначення коефіцієнту K_{cm} використовують дані таблиці 10 довідкових даних.

5.2 Вибір розподільних трансформаторів

5.2.1 Вибір цехових трансформаторів промислових підприємств

Під вибором розподільних трансформаторів розуміють вибір їх кількості та номінальної потужності, а також робочого відгалуження первинної обмотки.

Вибір кількості та економічної потужності цехових трансформаторів здійснюють одночасно з вибором низьковольтних батарей конденсаторів (НБК) для компенсації реактивної потужності у такій послідовності.

Вибирають економічно оптимальну кількість цехових трансформаторів $n_{т.е}$ та економічне оптимальне значення потужності НБК Q_{HK1} .

Визначають додаткову потужність НБК Q_{HK2} з метою оптимального зниження втрат потужності у трансформаторах та в мережі напругою 6 (10) кВ.

Сумарна розрахункова потужність Q_{HK} батареї конденсаторів (БК) складе:

$$Q_{HK} = Q_{HK1} + Q_{HK2}.$$

Мінімальну кількість цехових трансформаторів n_{min} однакової потужності $S_{T.ном}$, що призначені для живлення технологічно зв'язаних навантажень, знаходять за виразом

$$n_{min} = \frac{P_{p.0,38}}{\kappa_3 S_{T.ном}} + \Delta n,$$

де κ_3 – коефіцієнт завантаження трансформатора; для двотрансформаторних підстанцій приймається 0,7...0,75; для однострансформаторних – 0,95;

$S_{T.ном}$ – номінальна потужність трансформатора, кВ·А;

Δn – дробовий доданок до найближчого цілого числа.

Двотрансформаторні підстанції застосовують за наявності споживачів І категорії та особливої групи, а також для цехів з високою питомою густиною навантаження (понад 0,5...0,7 кВ·А/м²), для компресорних і насосних станцій загальнозаводського призначення.

Цехові ТП із кількістю трансформаторів понад два застосовують лише за техніко-економічним обґрунтуванням, а також у разі використання роздільного живлення силового та освітлювального навантаження.

Економічну кількість трансформаторів n_e знаходять за виразом

$$n_e = n_{min} + m,$$

де m – додаткова кількість трансформаторів, яка визначається у функції n_{min} і Δn .

За рахунок Δn та m з'являється незкомпенсована потужність $Q_{\max,т}$, яка передаватиметься через трансформатори в мережу 0,38 кВ; визначають її за виразом

$$Q_{\max,т} = \sqrt{(n_e \kappa_{з.ф} S_{т.ном})^2 - P_{р.0,38}^2},$$

де $\kappa_{з.ф}$ – фактичний коефіцієнт завантаження трансформатора:

$$\kappa_{з.ф} = \frac{S_{р.0,38}}{n_e S_{т.ном}}.$$

Потужність Q_{HK1} складе:

$$Q_{HK1} = Q_{р.0,38} - Q_{\max,т},$$

де $Q_{р.0,38}$ – розрахункова реактивна потужність ЕП напругою 0,38 кВ, квар.

Якщо $Q_{HK1} < 0$, встановлювати БК на першому етапі розрахунку не потрібно; у цьому випадку $Q_{HK1} = 0$.

Величина Q_{HK2} визначається за виразом

$$Q_{HK2} = Q_{р.0,38} - Q_{HK1} - \gamma n_e S_{т.ном},$$

де γ – розрахунковий коефіцієнт, який визначають у функції показників K_1, K_2 , схеми та напруги розподільної мережі.

Показник K_1 характеризує відношення питомих витрат на НБК та БК середньої напруги та у практичних розрахунках для енергетичної системи України у разі тризмінної роботи дорівнює 11, у разі двозмінної і – 12, однозмінної – 24. Показник K_2 враховує віддаленість ТП від РП ГПП та потужність трансформаторів.

Якщо в розрахунках отримаємо, що $Q_{HK2} < 0$, тоді додатково встановлювати конденсаторні батареї не потрібно.

У результаті розрахунків вибирають кількість і потужність трансформаторів, а також сумарну реактивну потужність $Q_{\text{нк}}$. Під час вибору кількості стандартних БК їх кількість повинна бути кратною кількості трансформаторів.

Аналогічно здійснюють вибір цехових трансформаторів інших цехів.

На підприємстві слід застосовувати, як правило, однотипні трансформатори. Споживачі з малою розрахунковою потужністю цехів слід заживлювати від ТП сусідніх цехів.

На діючих підприємствах встановлені, головним чином, конденсаторні установки типу УК-0,38 нерегульовані та УКН-0,38 регульовані потужністю 60...600 квар. Для розряду конденсаторів після їх відключення від мережі використовують зовнішні або вбудовані резистори, а також котушки індуктивності та первинні обмотки однофазних трансформаторів напруги.

5.2.2 Вибір розподільних трансформаторів для району міста

Для визначення кількості трансформаторів для живлення району міста треба спочатку визначитися відносно схеми живлення споживачів, тобто прийняти кільцеву чи двопроменеву схему живлення. В першому випадку будуть використовуватися однострансформаторні підстанції з двостороннім живленням, в другому – двотрансформаторні підстанції з одностороннім живленням і АВР на боці низької напруги. Вибрана схема живлення повинна бути аргументованою.

У разі однострансформаторних підстанцій коефіцієнт завантаження трансформаторів K_z у нормальному режимі роботи рекомендується в межах 0,9...0,95, для двотрансформаторних – 0,7...0,75.

Далі слід аргументовано прийняти потужність трансформаторів; в більшості випадків в електричних мережах міст на ТП використовуються трансформатори однакової потужності (400 або 630 кВ·А).

На основі генплану району будівлі міста розбиваються на окремі групи близького розташування, для яких визначається повна розрахункова потужність

S_p відносно прийнятої потужності трансформатора $S_{T.ном}$ та рекомендованого коефіцієнта завантаження K_3 . Має виконуватись умова

$$K_3 S_{T.ном} \geq S_p.$$

Компенсація реактивної потужності в розподільних мережах району не передбачається. На генплані трансформатори бажано розташовувати у центрі групи споживачів.

5.2.3 Вибір відгалужень розподільних трансформаторів

Вибір відгалуження трансформатора проводять за умови допустимого усталеного відхилення напруги у споживачів. У режимі максимальних навантажень напруга на затискачах найвіддаленіших ЕП згідно ГОСТ 13109-97 та ДСТУ EN 50160:2014 (EN 50160:2010, IDT) не має знижуватись за $0,95 U_n$, тобто $\delta U_{y-} \geq -5\%$. У режимі мінімальних навантажень напруга на шинах РП низької напруги трансформатора не має перевищувати 5% номінальної напруги, тобто $\delta U_{y+} \leq 5\%$. Максимальним беруть розрахункове навантаження, а мінімальним за відсутності добового графіка електричних навантажень – навантаження, яке становить $(25 \cdots 30)\%$ розрахункового: $K_n = 0,25 \cdots 0,3$.

Якщо враховувати, що напруга холостого ходу трансформатора на 5% перевищує номінальну напругу електричної мережі, то величини δU_y у відсотках будуть становити:

- для режиму максимальних навантажень:

$$\delta U_{y-} = E_T + 5 - \left(\Delta U_{B.K} + \Delta U_T + \sum_{i=1}^n \Delta U_{H.M} + \Delta U_{сп} \right) \geq -5;$$

- для режиму мінімальних навантажень:

$$\delta U_{y+} = E_T + 5 - K_n (\Delta U'_{B.K} + \Delta U'_T) - \Delta U'_{сп} \leq +5,$$

де E_T – величина добавки напруги на регульовальних відгалуженнях трансформатора, %;

$\Delta U_{B.K}$, $\Delta U'_{B.K}$ – втрати напруги у високовольтному кабелі в режимах максимальних та мінімальних навантажень, %;

ΔU_T , $\Delta U'_T$ – втрата напруги в трансформаторі в режимах максимальних та мінімальних навантажень, %;

$\sum_{i=1}^n \Delta U_{H.M}$ – сумарна втрата напруги в магістральних лініях до споживача, %;

n – кількість послідовних ділянок магістралей до споживача, шт.;

$\Delta U_{сп}$, $\Delta U'_{сп}$ – втрата напруги в лінії найвіддаленішого споживача у режимах максимальних та мінімальних навантажень, %.

Величину ΔU_T знаходять за виразом

$$\Delta U_T = \frac{S_p}{S_{T.HOM}} (U_a \cos \varphi + U_p \sin \varphi),$$

де S_p – розрахункова потужність на вторинній стороні трансформатора, кВ·А;

$S_{T.HOM}$ – номінальна потужність трансформатора, кВ·А;

$U_a = \frac{100P_K}{S_{T.HOM}}$ – активний складник напруги короткого замикання (КЗ) трансформатора, %;

$U_p = \sqrt{U_K^2 - U_a^2}$ – реактивний складник напруги КЗ трансформатора, %.

У разі розрахунку $\Delta U'_T$ замість S_p береться S'_p – навантаження режиму мінімальних навантажень.

Підставляючи розрахункові дані у вирази δU_{y-} та δU_{y+} і вирішуючи нерівності, отримують потрібне E_T відгалуження трансформатора з діапазону $[-5; -2,5; 0; 2,5; 5]$ % (таблиця 5.2).

Таблиця 5.2 – Додавки напруги розподільним трансформатором

Номер відгалуження	1	2	3	4	5
Вторинна напруга відносно номінальної $U_{2н}$ трансформатора, %	$0,95U_{2н}$	$0,975U_{2н}$	$1,0 U_{2н}$	$1,025 U_{2н}$	$1,05 U_{2н}$
Додавка напруги E_t , % відносно номінальної напруги мережі	0	2,5	5	7,5	10

Якщо на затисках ЕП, СП або РП низької напруги ТП присутня конденсаторна батарея потужністю $Q_{нБК}$, то в лівих частинах нерівностей δU_{y-} та δU_{y+} додається додавка напруги низьковольтних конденсаторів $E_{нБК}$, яка у відсотках розраховується за формулою

$$E_{нБК} = \frac{Q_{нБК} x_m}{U_{ном}^2},$$

де x_m – реактивний опір мережі, що включає опір високовольтного кабелю, трансформатора і мережі 0,38 кВ до місця приєднання конденсаторів.

Вибір робочого відгалуження трансформатора також можна здійснювати з використанням таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Вибір робочого відгалуження розподільних трансформаторів

Втрати напруги у розподільній мережі низької напруги ΔU_m , %	0...2,5	2,5...5	5...7,5	7,5...10	Більше 10
Додавка напруги E_t , %	0	2,5	5	7,5	10
Номер відгалуження	1	2	3	4	5

5.3 Вибір провідників

Вибір перерізів електричних мереж різних класів номінальних напруг є важливим етапом будь-якого проєкту електропостачання. Відповідно до чинних нормативних документів, вибір параметрів всіх основних елементів СЕП здійснюється виходячи з економічних міркувань за умови задоволення ряду технічних вимог, яких слід дотримуватися в нормальному та післяаварійному режимах. Разом із тим, як показує досвід проєктування, у багатьох випадках саме технічні критерії є визначальними при виборі параметрів елементів

електричних мереж. Очевидно, що дані вимоги не повністю ідентичні для різних елементів і залежать від ряду факторів: їх конструктивного виконання, номінальної напруги, наявності необхідної інформації та т.д. Зокрема, наприклад, при виборі перерізів всі електричні мережі діляться на дві принципові групи: мережі номінальною напругою до і понад 1000 В.

В електричних мережах промислових об'єктів на напругу до 1000 В як провідники використовують проводи, кабелі та шинопроводи, а на напругу понад 1000 В – проводи, кабелі та струмопроводи.

В електричних мережах цивільного призначення на напругу до 1000 В як провідники використовують проводи та кабелі; в останні роки стояки в багатоповерхових житлових і громадських будинках виконують шинопроводами. У цих електричних мережах на напругу понад 1000 В застосовують проводи та кабелі.

Типи кабелів і проводів, а також способи їх прокладання вибирають залежно від оточуючого середовища (нормальне, вибухо- або пожежонебезпечне, корозійне тощо).

Для окремого ЕП лінія живлення вибирається за допустимим струмом навантаження в нормальному режимі роботи. За розрахунковий струм приймають його номінальний струм I_n . Якщо ця лінія виконується проводами в трубах, здійснюють вибір діаметра труби.

Мінімально допустимі перерізи мережі напругою до 1000 В, у загальному випадку, повинні відповідати таким вимогам.

1. Втрата напруги в нормальному режимі не повинна перевищувати допустимої величини:

$$\Delta U_p \leq \Delta U_{\text{доп}}.$$

При цьому втрата напруги (у відсотках від номінального значення) на ділянці мережі визначається наступним чином

$$\Delta U_p = \frac{(P_p r_0 + Q_p x_0) L}{10 U_H^2},$$

де r_0 , x_0 – погонні активний і реактивний опори однієї фази дроту (або кабелю), Ом/км;

L – довжина ділянки мережі, км.

Допустиму втрату напруги в мережі $\Delta U_{\text{доп}}$ розраховують за виразом

$$\Delta U_{\text{доп}} = \delta U_{\text{у.ЦЖ}} + E_{\text{БК}} + E_{\text{Т}} - \delta U_{\text{у.ЕП.доп}},$$

де $\delta U_{\text{у.ЦЖ}}$ – фактичне усталене відхилення напруги в ЦЖ (шини 6(10) кВ ГПП);

$E_{\text{Т}}$, $E_{\text{БК}}$ – добавки напруги, що створюють розподільні трансформатори та БК (у разі їх наявності) відповідно;

$\delta U_{\text{у.ЕП.доп}}$ – допустиме усталене відхилення напруги на затискачах ЕП, дорівнює $\pm 5\%$ у нормальному режимі роботи мережі та $\pm 10\%$ – у максимальному (післяаварійному) режимі роботи.

Значення величини $E_{\text{Т}}$ визначається за таблицею 5.2 або таблицею 5.3 залежно від робочого відгалуження трансформатора.

Якщо $\delta U_{\text{у.ЦЖ}} = 5\%$, $E_{\text{БК}} = 0$, $E_{\text{Т}} = 5\%$, $\delta U_{\text{у.ЕП.доп}} = -5\%$, то $\Delta U_{\text{доп}} = 15\%$.

Значення величини $E_{\text{БК}}$ розраховують за виразом

$$E_{\text{БК}} = \frac{Q_{\text{БК}} x_{\text{м}}}{10 U_H^2},$$

де $Q_{\text{БК}}$ – потужність БК, квар;

$x_{\text{м}}$ – реактивний опір мережі від ЦЖ до місця встановлення БК, Ом.

Значення $\Delta U_{\text{доп}}$ містить в собі допустимі втрати напруги $\Delta U_{\text{СН,доп}}$ в лініях 6...35 кВ від ЦЖ до ТП (середня напруга), $\Delta U_{\text{НН,доп}}$ в лініях 0,38 кВ від шин вторинної напруги ТП до найвіддаленішого ЕП (низька напруга), $\Delta U_{\text{т.доп}}$ у розподільному трансформаторі. Економічний розподіл $\Delta U_{\text{доп}}$ на ці складники можна здійснити тільки на основі техніко-економічних розрахунків. Виходячи з практики електропостачання рекомендуються у нормальних режимах такі значення цих складових:

- для мереж НН – від 5 % до 6,5 %, з них на ділянці мережі від шин ТП до вводу в будинок – від 3,5 % до 5,5 %, а на ділянці від вводу в будинок до найвіддаленішого ЕП – від 2,5 % до 1 %;
- для розподільних трансформаторів – 5 %;
- для повітряних мереж середньої напруги – 8 %;
- для кабельних мереж середньої напруги – 6 %;
- для сільських повітряних мереж середньої напруги – 10 %.

У післяаварійних режимах допускається збільшення вказаних значень для повітряних мереж до 12 %, для кабельних – до 10 %.

2. Втрата напруги у післяаварійному режимі не повинна більш ніж на 5 % перевищувати допустиму (в нормальному режимі) величину:

$$\Delta U_{\text{п/а}} \leq \Delta U_{\text{доп}} + 5 \% .$$

3. Струмове навантаження в нормальному режимі не повинно перевищувати допустиму величини, визначену з урахуванням умов прокладки лінії:

$$I_p \leq I_{\text{доп}} K_1 K_2 \text{ – для КЛ та } I_p \leq I_{\text{доп}} K_1 \text{ – для ПЛ,}$$

де $I_{\text{доп}}$ – допустима тривалість струмового навантаження, А, що визначається за каталожними даними з урахуванням марки кабелю (проводу) і

враховує спосіб його прокладки (у землі, у повітрі, у трубах і т.д.), або визначається за таблицею 14 або 15 довідкових даних;

K_1 – коефіцієнт, що враховує фактичні температурні умови експлуатації кабелю (таблиця 16 довідкових даних) або ПЛ;

K_2 – поправочний коефіцієнт, який приймає до уваги кількість поряд прокладених кабелів (таблиця 17 довідкових даних).

4. Струмове навантаження у післяаварійному режимі не повинно перевищувати допустиме значення, визначене з урахуванням відповідного коефіцієнта допустимого перевантаження:

$$I_{п/а} \leq I_{доп} K_1 K_2 K_{пер} \text{ – для КЛ та } I_{п/а} \leq I_{доп} K_1 K_{пер} \text{ – для ПЛ,}$$

де $K_{пер}$ – коефіцієнт допустимого перевантаження, який визначається з урахуванням умов прокладки, тривалості перевантаження та попереднього завантаження КЛ (таблиця 18 довідкових даних).

Для ПЛ коефіцієнт допустимого перевантаження приймається рівним 1,3. При цих умовах збільшення стріли провисання (викликане додатковим нагріванням дроту) не перевищує допустимого значення.

5. Обраний переріз повинен відповідати параметрам захисного апарату встановленого на лінії:

$$I_{доп} \geq K_3 I_3,$$

де K_3 – коефіцієнт кратності захисту (таблиця 5.4);

I_3 – номінальний струм або струм спрацьовування захисного апарату.

При виборі значень необхідно враховувати, що захисту від перевантажень і струмів КЗ підлягають всі мережі всередині приміщень, виконані відкрито прокладеними, незахищеними ізольованими провідниками з горючою оболонкою, а також мережі всередині приміщень, виконані захищеними провідниками прокладеними в трубах, не горючих будівельних конструкціях і т.п., у вибухонебезпечних приміщеннях; силові мережі, коли за умовами

технологічного процесу можливі тривалі перевантаження; освітлювальні мережі у житлових, громадських будівлях і пожежонебезпечних приміщеннях. Всі інші мережі захищаються тільки від КЗ.

Таблиця 5.4 – Значення коефіцієнта кратності захисту

Параметр захисного апарата	Для мереж з обов’язковим захистом від перевантажень			Для мереж, що не потребують захист від перевантажень
	з резиновою ізоляцією		з паперовою ізоляцією	
	житлові, торгівельні, вибухо- та пожежонебезпечні приміщення	інші приміщення		
Номінальний струм плавкої вставки запобіжника	1,25	1,0	1,0	0,33
Струм уставки автоматичного вимикача з миттєво діючим розчіплювачем	1,25	1,0	1,0	0,22
Номінальний струм розчіплювача автоматичного вимикача з нерегульованою обернено-залежною від струму характеристикою	1,0	1,0	1,0	1,0
Струм дотику розчіплювача автоматичного вимикача з регульованою обернено-залежною від струму характеристикою	1,0	1,0	0,8	0,66

Традиційно вибір перерізів ліній напругою до 1000 В здійснюють за допустимою втратою напруги. Для деякої ділянки мережі з навантаженням P_p і Q_p та параметрами L , r_0 , x_0 можна записати

$$\Delta U = \Delta U_P + \Delta U_Q = \frac{P_p R}{10U_H^2} + \frac{Q_p X}{10U_H^2} = \frac{P_p r_0 L}{10U_H^2} + \frac{Q_p x_0 L}{10U_H^2}.$$

При вирішенні завдання вибору перерізів виходять із припущення, що реактивний опір як ПЛ, так і КЛ мало залежить від значення перерізу.

Це дає змогу припустити наступний алгоритм вирішення задачі:

1. Задають усереднене значення погонного реактивного опору x_0 .
2. Обчислюють реактивну складову втрати напруги

$$\Delta U_Q = \frac{Q_p x_0 L}{10U_H^2}.$$

3. Визначають активну складову допустимої втрати напруги

$$\Delta U_{P_{\text{доп}}} = \Delta U_{\text{доп}} - \Delta U_Q.$$

4. Отримане значення $\Delta U_{P_{\text{доп}}}$ може бути використано для визначення перерізу лінії, враховуючи, що

$$\Delta U_P = \frac{P_p r_0 L}{10U_H^2} = \frac{P_p \rho L}{10U_H^2 F}.$$

$$\text{Тоді } F = \frac{\rho \sum P_p L}{10U_H^2 \Delta U_{\text{доп}}},$$

де ρ – питомий опір дроту або кабелю, для алюмінію – $\rho=26,2-29,5$ Ом/км·мм², для міді – $\rho=17,24-18$ Ом/км·мм² (для розрахунків приймаємо середнє значення, для алюмінію – $\rho=27,85$ Ом/км·мм², для міді – $\rho=17,62$ Ом/км·мм²);

$\Delta U_{\text{доп}}$ – допустима втрата напруги, у % від номінального значення.

5. Отриманий переріз округлюють до найближчого стандартного більшого та визначають величину втрати напруги ΔU вже з урахуванням фактичних значень r_0 і x_0 . Якщо $\Delta U \leq \Delta U_{\text{доп}}$, то вибраний переріз відповідає умовам і вибір перерізу завершено. В іншому випадку – переріз підсилюють.

При виборі КЛ рішення задачі може бути отримано простіше. На практиці при проєктуванні КЛ реактивним опором нехтують. В цьому випадку переріз може бути обчислено безпосередньо на основі заданої величини допустимої втрати напруги

$$F = \frac{P_p \rho L}{10 U_n^2 \Delta U_{\text{доп}}}.$$

У реальних умовах мережі низької напруги часто будуються по магістральним схемам. У цьому випадку для вибору перерізів може бути використано кілька стратегій. Найбільш вживаним на практиці методом є розрахунок на сталість перерізу.

Переріз мереж даного класу номінальних напруг вибирається на основі економічних міркувань, при виконанні ряду технічних вимог. При цьому деякі технічні вимоги аналогічні тим, які висувалися і до мереж напругою до 1000 В:

1. Струмове навантаження в нормальному режимі не повинно перевищувати допустиму величини, визначену з урахуванням умов прокладки лінії:

$$I_p \leq I_{\text{доп}} K_1 K_2 \text{ — для КЛ та } I_p \leq I_{\text{доп}} K_1 \text{ — для ПЛ,}$$

де $I_{\text{доп}}$ — допустима тривалість струмового навантаження, А, що визначається за каталожними даними з урахуванням марки кабелю (проводу) і враховує спосіб його прокладки (у землі, у повітрі, у трубах і т.д.), або визначається за таблицею 13 довідкових даних;

K_1 — коефіцієнт, що враховує фактичні температурні умови експлуатації кабелю (таблиця 16 довідкових даних) або ПЛ;

K_2 — поправочний коефіцієнт, який приймає до уваги кількість поряд прокладених кабелів (таблиця 17 довідкових даних).

2. Струмове навантаження у післяаварійному режимі не повинно перевищувати допустиме значення, визначене з урахуванням відповідного коефіцієнта допустимого перевантаження:

$$I_{\text{п/а}} \leq I_{\text{доп}} K_1 K_2 K_{\text{пер}} - \text{для КЛ та } I_{\text{п/а}} \leq I_{\text{доп}} K_1 K_{\text{пер}} - \text{для ПЛ},$$

де $K_{\text{пер}}$ – коефіцієнт допустимого перевантаження, який визначається з урахуванням умов прокладки, тривалості перевантаження та попереднього завантаження КЛ (*таблиця 18 довідкових даних*).

Для ПЛ коефіцієнт допустимого перевантаження приймається рівним 1,3. При цих умовах збільшення стріли провисання (викликане додатковим нагріванням дроту) не перевищує допустимого значення.

Окрім цього для мереж даного класу необхідно виконання наступних умов.

1. Для КЛ обраний переріз не повинен бути меншим мінімально допустимого за умовами термічної стійкості струмів КЗ

$$F \geq F_{\text{КЗ}}^{\min}, \quad F_{\text{КЗ}}^{\min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C},$$

де B_k – так званий тепловий імпульс;

C – термічний коефіцієнт.

Зокрема, для КЛ 10 кВ із алюмінієвими жилами та полівінілхлоридною або гумовою ізоляцією $C = 75 \text{ А} \cdot \text{с}^2 / \text{мм}^2$, а для аналогічних КЛ з поліетиленовою ізоляцією $C = 62 \text{ А} \cdot \text{с}^2 / \text{мм}^2$.

2. Для ПЛ додатково повинні бути також перевірено вимоги щодо забезпечення механічної міцності

$$F \geq F_{\text{мех}}^{\min}$$

та умов коронування

$$F \geq F_{\text{кор}}^{\min}.$$

Остання умова стосується мереж номінальною напругою 35 кВ і вище.

Для ПЛ рекомендовані мінімальні значення перерізів проводів залежно від напруги, які одночасно забезпечують умови економічності, механічної міцності та коронування.

Якщо вся розподільна лінія виконується кабелем одного перерізу, то, очевидно, умови допустимості нормального та післяаварійного режимів перевіряються за відповідними навантаження **головної ділянки**. При цьому зазначене навантаження обчислюється з урахуванням коефіцієнта суміщення максимуму (*таблиця 9 довідкових даних* та/або таблиця 3.14 [ДБН В.2.5-23:2010]), беручи до уваги фактичне число трансформаторів, які отримують живлення від головної ділянки лінії відповідно в нормальному та післяаварійному режимах.

Виконання всіх перерахованих вище пунктів дає змогу вибрати мінімально допустимий переріз з точки зору технічних вимог. Питання доцільності збільшення отриманого перерізу має вирішуватися на основі економічних міркувань. Як показує досвід, у цьому випадку зазвичай достатньо проаналізувати не більше 2-3 альтернативних варіантів.

З огляду на широке застосування автоматизованих систем при проєктуванні електричних мереж, сьогодні остаточний вибір перерізу необхідно проводити на основі прямих економічних розрахунків, що дає змогу врахувати як конкретні умови проєктування об'єкта, так і особливості фінансування будівельно-монтажних робіт і цілий ряд інших важливих факторів. У цьому випадку мова йде тільки про оцінку економічної доцільності збільшення обраної з технічних міркувань мінімально допустимого перерізу.

5.4 Розрахунок технічних втрат електричної енергії в елементах систем електропостачання

5.4.1 Метод поелементних розрахунків

У розподільній мережі 6 ... 10 кВ при наявності можливості систематичної актуалізації навантажень розподільних трансформаторів (координації оцінок навантажень ТП з результатами оперативних вимірів сумарного навантаження на головному ділянці відповідної лінії) та детальної інформації про топології і параметрах мережі найкращим є метод поелементних розрахунків. Як уже було показано вище, процедури корекції навантажень побудовані таким чином, що величина втрат потужності для кожного t -го тимчасового інтервалу обчислюється в процесі визначення поточкорозподілу. Зокрема, втрати потужності на ділянках мережі при цьому знаходимо наступним чином

$$\begin{aligned}\Delta P_{i,i+1,t} &= 3I_{i,i+1,t}^2 R_{i,i+1} = 3 \frac{P_{i,i+1,t}^2 + Q_{i,i+1,t}^2}{(U_{i,t} + U_{i+1,t})^2} R_{i,i+1,t}, \\ \Delta Q_{i,i+1,t} &= 3I_{i,i+1,t}^2 X_{i,i+1} = 3 \frac{P_{i,i+1,t}^2 + Q_{i,i+1,t}^2}{(U_{i,t} + U_{i+1,t})^2} X_{i,i+1,t},\end{aligned}\quad (5.1)$$

де $I_{i,i+1,t}$, $P_{i,i+1,t}$, $Q_{i,i+1,t}$ – навантаження, що протікає по ділянці $i, i+1$ опором $R_{i,i+1}$ та $X_{i,i+1}$ відповідно;

U_i , U_{i+1} – напруга у початковій та кінцевій точках (i та $i+1$) ділянки розподільної лінії, яка розглядається.

Втрати електричної енергії для окремих ділянок мережі за певний (звітний) період T визначають шляхом послідовного підсумовування отриманих відповідно до (5.1) значень втрат потужності

$$\Delta A_{Pi,i+1} = \sum_{t=1}^T (\Delta P_{i,i+1,t} t_{i,i+1}),$$

$$\Delta A_{Q_{i,i+1}} = \sum_{t=1}^T (\Delta Q_{i,i+1,t} t_{i,i+1}).$$

Однак важливо підкреслити, що якщо у процесі моделювання режиму електричної мережі були визначено графіки навантаження по активній і реактивній потужностях для конкретного сезону та навіть для характерних днів тижня по всім розподільним трансформаторам, то це не є достатньою підставою для використання методу поелементних розрахунків. Зазначені показники відображають режим мережі «у середньому» і без наявності в СЕП системи телевимірювань (тобто можливості постійної актуалізації навантажень) і телесигналізації або іншої форми контролю поточної топології мережі, не можуть бути використані для оперативних розрахунків втрат.

У зв'язку з цим розглянутий метод швидше орієнтований на застосування в електричних мережах більш високих номінальних напруг, де перераховані вимоги виконуються. У розподільних енергокомпаніях метод поелементних розрахунків реально може бути застосований для розрахунків у, так званому, «квазіреальному» часі. У цьому випадку вимірювання на підстанціях, дані про зміну топології мережі (незалежно від того яким чином вони отримані) акумулюються у базі даних інформаційно-обчислювальної системи та використовуються для моделювання режиму і розрахунку втрат з певною «витримкою часу». Таким чином, наприклад, можуть визначатися втрати енергії за певний звітний (минулий) період часу.

У даний час у вітчизняних розподільних енергокомпаніях даний метод у чистому вигляді практично не використовуються. Це пов'язано, у першу чергу, за відсутності можливості систематично проводити виміри навантажень на головних ділянках розподільних ліній, передавати результати вимірювань в диспетчерську службу, актуалізувати топологію мережі і, відповідно, здійснювати корекцію режиму в реальному часі.

Формули для визначення втрат електричної енергії для лінії та трансформатору згідно методу поелементних розрахунків наведено у таблиці 5.5.

Таблиця 5.5

МЕТОД ПОЕЛЕМЕНТНИХ РОЗРАХУНКІВ	
Початкові дані	графік! , параметри лінії/трансформатору
Лінія	$\Delta A_P = \sum_{i=1}^n (\Delta P_i t_i) = \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{P_i^2 + Q_i^2}{U_H^2} r_0 L_{\text{л}} \right) t_i \right] = \frac{r_0 L_{\text{л}}}{U_H^2} \sum_{i=1}^n \left[(P_i^2 + Q_i^2) t_i \right],$ $\Delta A_Q = \sum_{i=1}^n (\Delta Q_i t_i) = \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{P_i^2 + Q_i^2}{U_H^2} x_0 L_{\text{л}} \right) t_i \right] = \frac{x_0 L_{\text{л}}}{U_H^2} \sum_{i=1}^n \left[(P_i^2 + Q_i^2) t_i \right].$
Трансформатор	$\Delta A_P = \sum_{i=1}^n (\Delta P_i t_i) + \Delta P_{\text{пост}} T_{\text{вкл}} = \sum_{i=1}^n \left[\Delta P_{\text{к.3}} \frac{(P_i^2 + Q_i^2)}{S_H^2} t_i \right] + \Delta P_{\text{х.х}} T_{\text{вкл}} =$ $= \frac{\Delta P_{\text{к.3}}}{S_H^2} \sum_{i=1}^n \left[(P_i^2 + Q_i^2) t_i \right] + \Delta P_{\text{х.х}} T_{\text{вкл}},$ $\Delta A_Q = \sum_{i=1}^n (\Delta Q_i t_i) + \Delta Q_{\text{пост}} T_{\text{вкл}} = \sum_{i=1}^n \left[\frac{u_{\text{к.3}}}{100} \frac{(P_i^2 + Q_i^2)}{S_H} t_i \right] + \frac{I_{\text{х.х}}}{100} S_H T_{\text{вкл}} =$ $= \frac{u_{\text{к.3}}}{100 \cdot S_H} \sum_{i=1}^n \left[(P_i^2 + Q_i^2) t_i \right] + \frac{I_{\text{х.х}}}{100} S_H T_{\text{вкл}}$
Допоміжні вирази	$\sum_{i=1}^n t_i = T_p.$

5.4.2 Метод середніх навантажень

В якості альтернативного способу обчислення втрат енергії можна розглядати метод середніх навантажень. Відповідно до даного методу втрати енергії в сукупності ділянок лінії розподільчої мережі або трансформатора за розрахунковий період часу T_p обчислюються згідно виразу

$$\begin{aligned} \Delta A_P &= \Delta P_{\text{ср}} T_p K_f^2, \\ \Delta A_Q &= \Delta Q_{\text{ср}} T_p K_f^2, \end{aligned} \quad (5.2)$$

де $\Delta P_{\text{ср}}$, $\Delta Q_{\text{ср}}$ – втрати потужності в лінії або трансформаторі при середніх, за розрахунковий період T_p , значеннях навантажень;

K_f^2 – коефіцієнт форми графіка навантаження за розрахунковий період.

Очевидно, що даний метод, перш за все, орієнтований на енергосистеми з розвинутою системою обліку електроспоживання. У цьому випадку не виникає труднощів з визначенням середніх навантажень у вузлах мережі й обчисленням відповідної величини втрат потужності на основі схемотехнічних розрахунків ($\Delta P_{\text{сер}}$, $\Delta Q_{\text{сер}}$). У найбільшій мірі цим умовам відповідають СЕП великих промислових підприємств, що впровадили системи АСКОЕ/АСОЕ.

Відсутність достовірних даних про електроспоживання в необхідному обсязі, тобто для всіх навантажувальних вузлів розподільної мережі, не дає змоги безпосередньо використовувати цей метод у більшості розподільних енергокомпаніях. Разом із тим, сучасні інформаційно-обчислювальні системи дають можливість реалізувати зазначений підхід за рахунок застосування відповідних алгоритмів моделювання режимів електричних мереж.

Визначається середнє значення сумарного навантаження наступним чином

$$P_{\text{сер}} = \frac{A_p}{T_p}, \quad Q_{\text{сер}} = \frac{A_Q}{T_p},$$

де A_p , A_Q – дані фактичного відпуску електроенергії в мережу за весь розрахунковий період T_p , кВт·год і квар·год відповідно.

З огляду на реальне інформаційне забезпечення, супутнє застосування даного розрахункового методу, коефіцієнт форми в (5.2) може бути визначений таким чином:

$$K_f^2 = \frac{1+2K_3}{3K_3}, \quad \text{де} \quad K_3 = \frac{P_{\text{сер}}}{P_{\text{max}}},$$

або

$$K_f^2 = \left(\frac{1090}{T_{\text{max}}} + 0,876 \right)^2.$$

При цьому, такі параметри як максимальне навантаження $P_{\max}$, обсяг відпуску електроенергії у мережу A_P та A_Q , необхідні для розрахунку $P_{\text{сер}}$, $T_{\max}$, визначаються шляхом безпосередніх вимірювань, що реалізуються на головному ділянці розглянутої лінії розподільної мережі. У той же час, неможливість об'єктивного визначення зазначених параметрів незалежно для кожної ділянки розподільної мережі робить недоцільним застосування даного методу для розрахунку втрат електроенергії по окремих елементах лінії.

Формули для визначення втрат електричної енергії для лінії та трансформатору згідно методу середніх навантажень наведено у таблиці 5.6.

Таблиця 5.6

МЕТОД СЕРЕДНІХ НАВАНТАЖЕНЬ	
Початкові дані	відпуск у мережу! (A_P, A_Q), параметри лінії/трансформатору
Лінія	$\Delta A_P = \Delta P_{\text{сер}} T_p K_f^2 = \frac{P_{\text{сер}}^2 + Q_{\text{сер}}^2}{U_H^2} r_0 L_{\text{л}} T_p K_f^2,$ $\Delta A_Q = \Delta Q_{\text{сер}} T_p K_f^2 = \frac{P_{\text{сер}}^2 + Q_{\text{сер}}^2}{U_H^2} x_0 L_{\text{л}} T_p K_f^2$
Трансформатор	$\Delta A_P = \Delta P_{\text{сер}} T_p K_f^2 + \Delta P_{\text{пост}} T_{\text{вкл}} = \Delta P_{\text{к.з}} \frac{P_{\text{сер}}^2 + Q_{\text{сер}}^2}{S_H^2} T_p K_f^2 + \Delta P_{\text{х.х}} T_{\text{вкл}},$ $\Delta A_Q = \Delta Q_{\text{сер}} T_p K_f^2 + \Delta Q_{\text{пост}} T_{\text{вкл}} = \frac{u_{\text{к.з}}}{100} \frac{P_{\text{сер}}^2 + Q_{\text{сер}}^2}{S_H} T_p K_f^2 + \frac{I_{\text{х.х}}}{100} S_H T_{\text{вкл}}$
Допоміжні вирази	$P_{\text{сер}} = \frac{A_P}{T_p}, \quad Q_{\text{сер}} = \frac{A_Q}{T_p},$ $K_f^2 = \frac{1 + 2K_3}{3K_3}, \text{ де } K_3 = \frac{P_{\text{сер}}}{P_{\max}}, \quad \left(K_3 = \frac{Q_{\text{сер}}}{Q_{\max}} \right), \text{ або}$ $K_f^2 = \left(\frac{1090}{T_{\max}} + 0,876 \right)^2.$

5.4.3 Метод кількості годин найбільших втрат

Відсутність (з тих чи інших причин) можливості моделювання графіків навантажень ТП, або визначення даних про електроспоживання (відпуск електричної енергії в мережу), автоматично роблять неможливим застосування даного методу для розрахунку втрат електричної енергії. У цих умовах в якості найбільш прийняттого розглядається метод числа годин найбільших втрат.

Відповідно до даного методу

$$\Delta A_P = \Delta P_{\max} \tau_{\max},$$

$$\Delta A_Q = \Delta Q_{\max} \tau_{\max}.$$

Величина $\Delta P_{\max}$ визначається у процесі виконання схемотехнічних розрахунків.

Для визначення значень часу максимальних втрат $\tau_{\max}$ найчастіше застосовується одна з наступних емпіричних формул:

$$\tau_{\max} = \frac{K_3 + 2K_3^2}{3} T, \text{ де } K_3 = \frac{P_{\text{сеп}}}{P_{\max}}, \quad K_3 = \frac{Q_{\text{сеп}}}{Q_{\max}}$$

або

$$\tau_{\max} = \left(0,124 + \frac{T_{\max}}{10^4} \right)^2 T, \text{ де } T_{\max} = \frac{A_P}{P_{\max}}, \quad T_{\max} = \frac{A_Q}{Q_{\max}}.$$

При відсутності даних про відпуск електричної енергії в конкретну лінію мережі, значення $\tau_{\max}$ доводиться обчислювати на підставі відповідних вимірювань, реалізованих на шинах підстанції. Очевидно, що при використанні даного методу важко розраховувати, що спроба визначення втрат енергії по кожній із ділянок лінії може забезпечити прийнятну точність результатів.

У ситуаціях, коли фіксуються зміни топології розподільної лінії протягом розрахункового періоду, проте є тільки інтегральні дані про відпуск електричної енергії у мережу, відсутня будь-які переконливі обґрунтування для незалежного розрахунку $\tau_{\max}$ по окремим тимчасових інтервалах. Тому в

подібних випадках розрахунків втрат потужності необхідно здійснювати незалежно для кожного з зафіксованих станів мережі, а визначення втрат електричної енергії проводити при єдиному значенні $\tau_{\max}$.

Очевидно, що даний розрахунковий метод володіє найбільшою методичною похибкою. Разом із тим, він знаходить широке застосування при вирішенні проєктних завдань, коли важко розраховувати на наявність більшого обсягу інформації.

Формули для визначення втрат електричної енергії для лінії та трансформатору згідно методу середніх навантажень наведено у таблиці 5.7.

Таблиця 5.7

МЕТОД ЧИСЛА ГОДИН НАЙБІЛЬШИХ ВТРАТ	
Початкові дані	невелика кількість початкових даних, з яких більшість мають нижній індекс «max» , параметри лінії/трансформатору
Лінія	$\Delta A_P = \Delta P_{\max} \tau_{\max} = \frac{P_{\max}^2 + Q_{\max}^2}{U_H^2} r_0 L_{\text{л}} \tau_{\max},$ $\Delta A_Q = \Delta Q_{\max} \tau_{\max} = \frac{P_{\max}^2 + Q_{\max}^2}{U_H^2} x_0 L_{\text{л}} \tau_{\max}$
Трансформатор	$\Delta A_P = \Delta P_{\max} \tau_{\max} + \Delta P_{\text{пост}} T_{\text{вкл}} = \Delta P_{\text{к.з}} \frac{P_{\max}^2 + Q_{\max}^2}{S_H^2} \tau_{\max} + \Delta P_{\text{х.х}} T_{\text{вкл}},$ $\Delta A_Q = \Delta Q_{\max} \tau_{\max} + \Delta Q_{\text{пост}} T_{\text{вкл}} = \frac{u_{\text{к.з}}}{100} \frac{P_{\max}^2 + Q_{\max}^2}{S_H} \tau_{\max} + \frac{I_{\text{х.х}}}{100} S_H T_{\text{вкл}}$
Допоміжні вирази	$\tau_{\max} = \frac{K_3 + 2K_3^2}{3} T_p, \text{ де } K_3 = \frac{P_{\text{сер}}}{P_{\max}}, \left(K_3 = \frac{Q_{\text{сер}}}{Q_{\max}} \right)$ або $\tau_{\max} = \left(0,124 + \frac{T_{\max}}{10^4} \right)^2 T_p, \text{ де } T_{\max} = \frac{A_P}{P_{\max}}, \left(T_{\max} = \frac{A_Q}{Q_{\max}} \right).$ Розрахункове максимальне навантаження, яке визначене за максимальною температурою нагрівання провідників, називають скорочено розрахунковим навантаженням. Тому необхідно пам'ятати, що $P_p = P_{\max}$ та $Q_p = Q_{\max}$.

Додаток А Титульний аркуш та бланк завдання до курсового проєкту

Форма № Н-6.01

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

(повна назва кафедри, циклової комісії)

КУРСОВИЙ ПРОЄКТ

з дисципліни «Системи електропостачання»

(назва дисципліни)

на тему: «Вибір елементів схеми електропостачання»

Студента (ки) 4 курсу групи ОН-81
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
освітньої програми «Енергетичний
менеджмент та енергоефективні
технології»

(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н., доц., доц.ЯРМОЛЮК Олена

(науковий ступінь, посада, вчене звання, прізвище та ініціали)

Традиційна оцінка _____

Кількість балів: _____

Члени комісії

_____ к.т.н., доц. ФЕДОСЕНКО Микола
(підпис) (науковий ступінь, посада, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ д.т.н., проф., доц. ПОПОВ Володимир
(підпис) (науковий ступінь, посада, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ _____
(підпис) (науковий ступінь, посада, вчене звання, прізвище та ініціали)

Київ – 2021

Приклад заповнення завдання та календарного плану на курсовий проєкт

КПІ ім. Ігоря Сікорського					
(назва вищого навчального закладу)					
Кафедра		електропостачання			
Дисципліна		Системи електропостачання			
Спеціальність		141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»			
Освітня програма		Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології			
Курс	4/3	Група	ОН-81/ОН-п91	Семестр	7/5

ЗАВДАННЯ

на курсовий проєкт студента

(прізвище, ім'я, по батькові)	
1 Тема роботи	Вибір елементів схеми електропостачання
2 Термін здачі студентом закінченої роботи	01.12.2021
3 Початкові дані до роботи	Згідно навчального посібника у відповідності до варіанту
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають обробці)	
1. Визначення розрахункових навантажень у системах електропостачання промислових підприємств.	
2. Визначення розрахункових навантажень у системах електропостачання міст.	
3. Визначення перерізу ліній напругою до 1 кВ.	
4. Визначення перерізу ліній напругою 10 кВ.	
5. Розрахунок очікуваної величини недовідпущеної електричної енергії у повітряній лінії. Визначення рівня зниження очікуваної величини недовідпущеної електричної енергії у повітряній лінії.	
6. Визначення розрахункових навантажень на шинах 10 кВ підстанції.	
7. Визначення номінальної потужності трансформаторів 35/10 кВ і річних втрат електричної енергії у них.	
5 Перелік графічного матеріалу (з точною вказівкою обов'язкових креслень)	
1 План розташування електрообладнання та розводки електричної мережі.	
6 Дата видачі завдання	22.09.2021

Календарний план

№	Назва етапів курсового проєкту	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Визначення розрахункових навантажень у системах електропостачання промислових підприємств		
2	Визначення розрахункових навантажень у системах електропостачання міст		
3	Визначення перерізу ліній напругою до 1 кВ		
4	Визначення перерізу ліній напругою 10 кВ		
5	Розрахунок очікуваної величини недовідпущеної електричної енергії у повітряній лінії. Визначення рівня зниження очікуваної величини недовідпущеної електричної енергії у повітряній лінії		
6	Визначення розрахункових навантажень на шинах 10 кВ підстанції.		
7	Визначення номінальної потужності трансформаторів 35/10 кВ і річних втрат електричної енергії у них		
8	Графічна частина		
9	Оформлення пояснювальної записки		
Студент			
		(підпис)	
Керівник			
		(підпис)	
		(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)	
«	»		
		2021	р.

Додаток Б Приклад оформлення змісту

ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ ТА ПОЧАТКОВІ ДАНІ.....	4
ВСТУП.....	5
1 ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ У СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ.....	6
2 ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ У СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МІСТ.....	9
2.1 Розрахункове навантаження при нормальному режимі роботи.....	9
2.2 Розрахункове навантаження при післяаварійному режимі роботи....	11
3 ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРЕРІЗУ ЛІНІЙ НАПРУГОЮ до 1 кВ.....	13
4 ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРЕРІЗУ ЛІНІЙ НАПРУГОЮ 10 кВ.....	15
5 РОЗРАХУНОК ОЧІКУВАНОЇ ВЕЛИЧИНИ НЕДОВІДПУЩЕНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ у ПОВІТРЯНІЙ ЛІНІЇ. ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ЗНИЖЕННЯ ОЧІКУВАНОЇ ВЕЛИЧИНИ НЕДОВІДПУЩЕНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ у ПОВІТРЯНІЙ ЛІНІЇ.....	17
6 ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ на ШИНАХ 10 кВ ПІДСТАНЦІЇ.....	21
7 ВИЗНАЧЕННЯ НОМІНАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ 35/10 кВ і РІЧНИХ ВТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ У НИХ	24
7.1 Методом по елементних розрахунків.....	24
7.2 Методом числа найбільших втрат.....	34
ВИСНОВКИ.....	39
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	40

Додаток В Приклад оформлення переліку джерел посилання

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Василега П.О. Електропостачання: підручник. Суми : Сумський державний університет, 2019. 521 с.
2. Шестеренко В.Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. Вінниця : Нова Книга, 2004. 656 с.
3. ДБН В.2.5-23:2010 Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 104 с.
4. Правила улаштування електроустановок. Київ : Міненерговугілля України, 2017. 617 с.
5. ГОСТ 13109-97 Электрическая энергия. Совместимость технических средств. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Москва : Международный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1999. 32 с.
6. ДНАОП 0.00-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Київ : Держбуд України, 2001. 24 с.