Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”
Зав. кафедри ЕТС та ЕМ
канд. техн. наук, професор
_____Петро ПЛЄШКОВ
“___“ _____2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

«Розробка системи електропостачання медичного закладу»

Виконав здобув вищої освіти
IV курсу, групи ЕЕ–20,
ОПП «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____ Данило ПОНОМАРЕНКО
«____»_____2024 р.

Керівник роботи
доцент, канд. техн. наук
_____Василь ЗІНЗУРА
«_____»_____2024 р.

Рецензент _____

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет *будівництва, транспорту та енергетики*
Кафедра *електротехнічних систем та енергетичного менеджменту*
Рівень вищої освіти *перший (бакалаврський)*
Галузь знань *14 «Електрична інженерія»*
Спеціальність *141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»*
Освітньо-професійна програма *«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»*

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Завідувач кафедри ЕТС та ЕМ
_____Петро ПЛЄШКОВ
«_____»_____2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Пономаренка Данила Андрійовича
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи *Розробка системи електропостачання медичного закладу*
Development of a power supply system for a medical institution

2. Керівник роботи *Зінзура Василь Васильович, канд. техн. наук, доцент*
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту *01.06.2024 р.*

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи. *Метою роботи є розробка системи електропостачання медичного закладу. Для досягнення поставленої мети роботи необхідно вирішити наступні завдання: 1. Провести розрахунок електричних навантажень. 2. Провести розрахунок картограми електричних навантажень. 3. Здійснити техніко-економічне обґрунтування вибору схем електропостачання. 4. Провести розрахунок режимів реактивної потужності системи електропостачання. 5. Здійснити вибір кількості та потужності трансформаторів підприємства. 6. Провести розрахунок струмів коротких замкнень та здійснити вибір високовольтного обладнання. 7. Провести розрахунок спеціального розділу роботи.*

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Спеціальний розділ	*доцент Н.Ю. Гарасьова*		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	*Розрахунок електричних навантажень*	*08.04-19.04*	
2	*Картограма електричних навантажень*	*20.04-23.04*	
3	*Техніко-економічне обґрунтування вибору схем електропостачання*	*24.04-26.04*	
4	*Режими реактивної потужності системи електропостачання*	*27.04-1.05*	
5	*Вибір кількості та потужності трансформаторів підприємства*	*2.05-5.05*	
6	*Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання*	*6.05-9.05*	
7	*Спеціальний розділ*	*10.05-20.05*	
8	*Оформлення презентаційної частини БКР*	*21.05-26.05*	
9	*Оформлення пояснювальної записки БКР*	*27.05-30.05*	

Дата видачі завдання
«____» _____2024 р.

Підпис керівника _____ Василь ЗІНЗУРА

Завдання прийнято до виконання
«____» _____2024 р.

Підпис здобувача _____ Данило ПОНОМАРЕНКО

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 67 с.; 11 рис.; 21 табл.; 7 джерел

Пономаренко Д. А. Розробка системи електропостачання медичного закладу. – Рукопис.

Бакалаврська робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2024 рік.

Дана робота зосереджена на створенні ефективної системи забезпечення електричною енергією медичного закладу. У ході дослідження були опрацьовані такі ключові аспекти: обчислення електричних навантажень, розрахунок режимів реактивної потужності, визначення струмів короткого замикання, а також обґрунтування вибору схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання і підбір оптимального високовольтного обладнання.

Спеціальний розділ присвячений питанню розробки системи освітлення медичного закладу. Особливу увагу було приділено специфічним вимогам до освітлення різних функціональних зон медичного закладу. Окремо було розглянуто питання вибору методу світлотехнічного розрахунку освітлювальної установки, зокрема, метод коефіцієнта використання світлового потоку.

Ключові слова: розрахункові навантаження, електрична мережа, освітлювальна мережа

ABSTRACT

Qualification work: 67 p.; 11 Fig.; 21 tables; 7 sources

Ponomarenko D. Development of a power supply system for a medical institution. – Manuscript.

Bachelor's thesis on specialty 141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics", OPP "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics". – Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2024.

This work focuses on creating an efficient system for providing electrical energy to a medical institution. During the research, the following key aspects were studied: calculation of electrical loads, calculation of reactive power modes, determination of short-circuit currents, as well as justification for the choice of external and internal power supply schemes and selection of optimal high-voltage equipment.

A special section is dedicated to the issue of developing a lighting system for the medical institution. Particular attention was paid to the specific requirements for lighting in different functional zones of the medical institution. The issue of choosing a method for lighting calculation of the lighting installation was considered separately, in particular, the method of the luminous flux utilization factor.

Keywords: calculated loads, electrical network, lighting network

ЗМІСТ

ВСТУП 8

РОЗДІЛ 1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ 10
1.1 Розрахунок силових навантажень в мережі до 1 кВ 10
1.2 Розрахунок електричних освітлювальних навантажень 11
1.3 Розрахунок електричних навантажень напругою вище 1000 В 12
1.4 Графіки електричних навантажень 16

РОЗДІЛ 2. КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ 21

РОЗДІЛ 3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАВОДУ 23
3.1 Вибір схеми зовнішнього електропостачання 23
3.2 Вибір схеми внутрішнього електропостачання 26

РОЗДІЛ 4. РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ 28
4.1 Розрахунок балансу реактивної потужності 28
4.2 Вибір кількості, потужності та місця встановлення компенсуючих пристроїв 29

РОЗДІЛ 5. ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДПРИЄМСТВА 32

РОЗДІЛ 6. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ 33
6.1 Розрахунок струмів коротких замкнень 33
6.2 Вибір кабельних ліній напругою 10 кВ 38
6.3 Вибір електричних апаратів високої напруги 40
6.4 Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб 41

РОЗДІЛ 7. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ МЕДИЧНОГО ЗАКЛАДУ 43
7.1 Загальні положення розробки системи освітлення медичного закладу 43
7.2 Основні відомості про медичний заклад 44
7.3 Споживачі електричної енергії медичного закладу 45
7.4 Аналіз можливих методів та засобів освітлення приміщень медичного закладу 47
7.5 Вибір нормованих значень систем освітлення 49
7.6 Вибір світлових приладів 50
7.7 Розрахунок коефіцієнта запасу 54
7.8 Проектування електричної освітлювальної мережі медичного закладу 56

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ		
Зм.	*Арк.*	*№ докум.*	*Підпис*	*Дата*			
Розроб.		*Пономаренко Д.А*			Розробка системи електропостачання медичного закладу Development of a power supply system for a medical institution	*Літ.*	*Аркуш* / *Аркушів*
Перев.		*Зінзура В.В.*					6 / 67
Н. контр.		*Зінзура В.В.*				*ЦНТУ* *гр. ЕЕ-20*	
Затвер.		*Плєшков П.Г.*					

7.9 Розрахунок електричної освітлювальної мережі по спаду напруги та вибір апаратів захисту 58
7.10 Вибір методу світлотехнічного розрахунку системи освітлення приміщень 61
ВИСНОВКИ 66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 67

ВСТУП

Робота присвячена розробці ефективної та надійної системи електропостачання медичного закладу.

Надійне та стабільне постачання електричної енергії відіграє вирішальну роль у забезпеченні ефективної роботи медичних установ. Від безперебійності електропостачання залежить не тільки комфорт пацієнтів і співробітників, але й безпека та результативність лікувально-діагностичного процесу. Сучасні заклади охорони здоров'я потребують передових і технологічно досконалих систем електропостачання, здатних гарантувати постійну наявність електроенергії навіть у критичних ситуаціях.

Проектування системи електропостачання для медичного закладу є багатогранним і комплексним завданням, яке вимагає ретельного розгляду низки чинників. До них належать особливості медичної апаратури, графіки роботи різних відділень, вимоги до якості електричної енергії, а також безпека пацієнтів і медичного персоналу. Крім того, розроблена система повинна відповідати критеріям енергоефективності, економічної доцільності та узгоджуватися з актуальними стандартами і нормативними документами.

Варто зазначити, що при розробці системи електропостачання медичного закладу важливо враховувати не тільки загальні вимоги, але й специфіку конкретної установи. Наприклад, у лікарнях з операційними блоками й відділеннями інтенсивної терапії до надійності електропостачання висуваються особливо високі вимоги. У таких випадках можуть застосовуватися додаткові заходи, такі як використання джерел безперебійного живлення (ДБЖ), автоматичне вмикання резерву (АВР), а також створення ізольованих систем електропостачання для критично важливого обладнання.

Не менш важливим є питання енергоефективності. Сучасні медичні заклади споживають значну кількість електроенергії, тому впровадження енергозберігаючих технологій і обладнання може суттєво знизити експлуатаційні витрати.

Таким чином, розробка ефективної та надійної системи електропостачання медичного закладу вимагає комплексного підходу, який враховує специфічні потреби установи, забезпечує безпеку пацієнтів і персоналу, відповідає сучасним стандартам якості та енергоефективності.

У даній роботі будуть розглянуті ключові засади та підходи до створення системи електропостачання для медичного закладу.

РОЗДІЛ 1
РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

У цьому розділі розглядаються розрахунки потужностей для силових електроустановок напругою до 1000 вольт, а також освітлювальних приладів та електрообладнання з напругою живлення, що перевищує 1000 вольт. Визначення правильних значень електричних навантажень є критично важливим для подальшого проектування електропостачання будівель, промислових об'єктів чи інших споруд. Неточні розрахунки можуть призвести до перевантаження мереж, перегріву кабелів та комутаційних пристроїв, що становить ризик виникнення пожеж або нещасних випадків. Тому на цьому етапі проводяться ретельні обчислення максимальних розрахункових струмів і потужностей для різних груп споживачів з урахуванням коефіцієнтів одночасності та інших факторів навантаження.

1.1 Розрахунок силових навантажень в мережі до 1 кВ

Силові електр. навант. до 1 кВ визначаються згідно з методом коефіцієнта розрахункової потужності [1].

Наведемо приклад розрахунку силових навант. до 1 кВ для основного корпусу.

$$m = \frac{P_{н.max}}{P_{н.min}} = \frac{48,1}{0,06} = 801,7$$

$$P_{см} = P_{сум} K_и = 1256,18 \cdot 0,58 = 728,6 \text{ кВт}$$

$$Q_{см} = P_{см} tg\varphi = 728,6 \cdot 0,67 = 489,6 \text{ кВар}$$

$$n_e = \frac{2 \cdot \sum P_н}{P_{н.max}} = \frac{2 \cdot 1256,18}{48,1} = 52$$

$$P_{см} = P_{см}K_p = 728{,}6 \cdot 1{,}12 = 814{,}27 \text{ кВт}$$

$$Q_p = Q_{см} = 489{,}6 \text{ кВар.}$$

Результати розрахунку електр. навант. до 1 кВ зведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1. Результати розрахунку силових електр. навант. до 1000 В

№	Назва групи споживачів	К-сть ЕС	P одн., кВт		$P_{сум}$, кВт	m	$K_в$	cosφ	tgφ	Серед.		$n_{еф}$	$K_м$	Розрах. навантаження		
			min	max						$P_{зм}$, кВт	$Q_{зм}$, квар			$P_р$, кВт	$Q_р$, квар	$S_р$, кВА
1	Харчовий блок	413	0,02	27,5	183,2	1375	0,66	0,97	0,25	120	30,07	13	1,21	144,67	30,07	147,76
2	Корпус комп'ютерної томографії	73	0,08	56	102,7	700	0,63	0,95	0,33	65,11	21,4	4	1,47	95,95	23,54	98,8
3	Киснева станція	1	70	70	70	1	1	0,86	0,59	70	41,54	1	1	70	45,69	83,59
4	Поліклініка	476	0,08	18,2	100,2	227,5	0,79	0,95	0,33	79,16	26,02	11	1,1	87,22	26,02	91,02
5	Профілакторій	357	0,12	13,7	102,3	114,2	0,68	0,95	0,33	69,56	22,86	15	1,17	81,51	22,86	84,65
6	Котельня	7	1,5	9,1	22,2	6,1	0,65	0,85	0,62	14,43	8,94	5	1,38	19,96	9,83	22,25
7	Господарчий корпус	58	0,06	6,8	37,2	113,3	0,76	0,85	0,62	28,27	17,52	11	1,14	32,09	17,52	36,56
8	Паталого-анатомічний корпус	36	0,23	3,6	33,7	15,6	0,63	0,75	0,88	21,23	18,72	19	1,18	25,03	18,72	31,26
9	Основний корпус	713	0,06	48,1	1256,18	801,7	0,58	0,83	0,67	728,6	489,6	52	1,12	814,27	489,61	950,13
	Всього	**2134**	**0,02**	**70**	**1907,68**	**3500**	**0,63**	**0,87**	**0,57**	**1196**	**676,7**	**55**	**1,1**	**1313,5**	**676,68**	**1477,5**

1.2 Розрахунок електричних освітлювальних навантажень

Освітлювальні електр. навант. визначаються згідно методу питомої електр. потужності.

Наведемо приклад розрахунку освітлювальних навант. для основного корпусу.

$$P_y = F \cdot p_0 \cdot 10^{-3} = 11221 \cdot 9 \cdot 10^{-3} = 100{,}99 \text{ кВт}$$

$$P_p = K_n K_1 P_y = 0{,}68 \cdot 1 \cdot 100{,}99 = 68{,}67 \text{ кВт}$$

$$Q_p = P_p tg\varphi = 68{,}67 \cdot 0{,}329 = 22{,}59 \text{ кВар}$$

Розрахунок освітлювальних електр. навант. інших корпусів зведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2. Розрахунок освітлювальних електр. навант. підприємства

№ з/п	Назва об'єкту	F, м^2	p_0, Вт/м	$P_{вст}$, кВт	$K_п$	K_1	cosφ	tgφ	$P_р$, кВт	$Q_р$, квар	$S_р$, кВА
1	Харчовий блок	546	8	4,37	0,8	1	0,95	0,329	3,5	1,15	3,68
2	Корпус комп'ютерної томографії	333	7	2,33	0,95	1	0,95	0,329	2,21	0,73	2,33
3	Киснева станція	300	4	1,2	0,95	1	0,95	0,329	1,14	0,38	1,2
4	Поліклініка	3172	6	19,03	0,7	1	0,95	0,329	13,32	4,38	14,02
5	Профілакторій	3354	6	20,12	0,7	1	0,95	0,329	14,08	4,63	14,82
6	Котельня	108	4	0,43	1	1	0,95	0,329	0,43	0,14	0,45
7	Господарчий корпус	1282	5	6,41	0,95	1	0,95	0,329	6,09	2	6,41
8	Паталого-анатомічний корпус	389	5	1,95	0,95	1	0,95	0,329	1,85	0,61	1,95
9	Основний корпус	11221	9	100,99	0,68	1	0,95	0,329	68,67	22,59	72,29
10	Територія всього медичного закладу	21354	0,1	2,14	1	1	0,95	0,329	2,14	0,7	2,25
	Всього			**158,97**					**161,11**	**159,67**	**226,83**

1.3 Розрахунок електричних навантажень напругою вище 1000 В

Для розрахунку електр. навант. вище 1 кВ використовувався метод коефіцієнта розрахункової потужності.

Результати зведено в таблицю 1.3.

Таблиця 1.3. Розрахунок силових електор. навант. вище 1000 В

Назва групи споживачів	К-сть ЕС	P одн., кВт		P сум.	m	$K_в$	cosφ	tgφ	Середньозмінне навантаження		$n_{еф}$	$K_м$	Розрахункове навантаження		
		min	max						$P_{зм}$, кВт	$Q_{зм}$, квар			$P_р$, кВт	$Q_р$, квар	$S_р$, кВА
ТП1															
Харчовий блок															
силове:	413	0,02	27,5	183,2	1375	0,66	0,97	0,25	120	30,07	13	1,21	144,67	30,07	147,76
освітлювальне:									4,37				3,5	1,15	
Всього:									124,37	30,07			148,17	31,22	151,42
Господарчий корпус															
силове:	58	0,06	6,8	37,2	113	0,76	0,85	0,62	28,27	17,52	11	1,14	32,09	17,52	36,56
освітлювальне:									6,41				6,09	2	
Всього:									34,68	17,52			38,18	19,52	42,88
Всього по ТП1:															
силове:	471	0,02	27,5	220,4	1375	0,67	0,95	0,32	148,27	47,59	16	1,17	173,51	47,59	179,92
освітлювальне:									10,78				9,59	3,15	
БК 0,4 кВ										-50				-50	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП1:									159,05	-2,41			183,1	0,74	183,1
Втрати в трансформаторах:													2,31	11,78	
Кількість трансформаторів: 1															
Номінальна потужність, кВА: 250															
Коефіцієнт завантаження: Кз = 0,73															
Всього на шинах 10 кВ ТП1:													185,41	12,52	185,84
ТП2-5															
Корпус комп'ютерної томографії															
силове:	73	0,08	56	102,7	700	0,63	0,95	0,33	65,11	21,4	4	1,47	95,95	23,54	98,8
освітлювальне:									2,33				2,21	0,73	
Всього:									67,44	21,4			98,16	24,27	101,12
Киснева станція															
силове:	1	70	70	70	1	1	0,86	0,59	70	41,54	1	1	70	45,69	83,59
освітлювальне:									1,2				1,14	0,38	
Всього:									71,2	41,54			71,14	46,07	84,75
Поліклініка															

Продовження табл. 1.3

Назва групи споживачів	К-сть ЕС	P одн., кВт		P сум.	m	$K_в$	cosφ	tgφ	Середньозмінне навантаження		$n_{еф}$	$K_м$	Розрахункове навантаження		
		min	max						$P_{зм}$, кВт	$Q_{зм}$, квар			$P_р$, кВт	$Q_р$, квар	$S_р$, кВА
силове:	476	0,08	18,2	100,2	228	0,79	0,95	0,33	79,16	26,02	11	1,1	87,22	26,02	91,02
освітлювальне:									19,03				13,32	4,38	
Всього:									98,19	26,02			100,54	30,4	105,04
Профілакторій															
силове:	357	0,12	13,7	102,3	114	0,68	0,95	0,33	69,56	22,86	15	1,17	81,51	22,86	84,65
освітлювальне:									20,12				14,08	4,63	
Всього:									89,68	22,86			95,59	27,49	99,46
Котельня															
силове:	7	1,5	9,1	22,2	6,1	0,65	0,85	0,62	14,43	8,94	5	1,38	19,96	9,83	22,25
освітлювальне:									0,43				0,43	0,14	
Всього:									14,86	8,94			20,39	9,97	22,7
Паталого-анатомічний корпус															
силове:	36	0,23	3,6	33,7	15,6	0,63	0,75	0,88	21,23	18,72	19	1,18	25,03	18,72	31,26
освітлювальне:									1,95				1,85	0,61	
Всього:									23,18	18,72			26,88	19,33	33,11
Основний корпус															
силове:	713	0,06	48,1	1256,18	802	0,58	0,83	0,67	728,58	489,61	52	1,12	814,27	489,61	950,13
освітлювальне:									100,99				68,67	22,59	
Всього:									829,57	489,61			882,94	512,2	1020,75
Територія всього медичного закладу															
освітлювальне:									2,14				2,14	0,7	
Всього:									2,14	0			2,14	0,7	2,25
Всього по ТП2-5:															
силове:	1663	0,06	70	1687,28	1167	0,62	0,86	0,6	1048,07	629,09	48	1,11	1162,02	629,09	1321,38
освітлювальне:									148,19				103,84	34,16	
БК 0,4 кВ										-250				-250	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП2-5:									1196,26	379,09			1265,86	413,25	1331,61
Втрати в трансформаторах:													17,11	85,85	
Кількість трансформаторів: 7															
Номінальна потужність, кВА: 250															

Продовження табл. 1.3

Назва групи споживачів	К-сть ЕС	P одн., кВт		P сум.	m	$K_в$	cosφ	tgφ	Середньозмінне навантаження		$n_{еф}$	$K_м$	Розрахункове навантаження		
		min	max						$P_{зм}$, кВт	$Q_{зм}$, квар			$P_р$, кВт	$Q_р$, квар	$S_р$, кВА
Коефіцієнт завантаження: Кз = 0,76															
Всього на шинах 10 кВ ТП2-5:													1282,97	499,1	1376,63
Всього по об'єкту															
силове:	2134	0,02	70	1907,68	3500	0,63	0,95	0,31	1196,34	376,68	55	1,1	1314,57	376,68	1367,47
освітлювальне:									148,19				113,43	37,31	
Всього:									1355,31	376,68			1428	413,99	1486,8
Потужність КП 0,4 кВ:										-300				-300	
Втрати в трансформаторахрах:													19,43	97,63	
Всього по об'єкту:													1447,43	511,62	1535,19
Всього по об'єкту 10 кВ:													1447,43	511,62	1535,19
КП 10 кВ:														-300	
Всього 10 кВ з КП:													1447,43	211,62	1462,82
tgf = 0,146															

1.4 Графіки електричних навантажень

У цьому параграфі було розраховано параметри графіків електр. навант.. Результати розрахунків зведено в табл. 1.4, 1.5, та 1.6, а також на рис. 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 і 1.5

Таблиця 1.4. Вихідні дані для розрахунку графіків електр. навант.

№ з/п	Робочі дні		Вихідні дні	
	P, %	Q, %	P, %	Q, %
1	86	88	62	82
2	78	86	62	82
3	87	91	62	82
4	87	91	62	82
5	85	89	62	82
6	87	91	62	82
7	86	88	62	82
8	89	92	62	82
9	98	100	58	78
10	100	100	58	78
11	100	100	58	78
12	94	93	58	78
13	89	92	58	78
14	93	99	58	78
15	99	100	58	78
16	100	100	58	78
17	96	96	58	78
18	86	88	58	78
19	92	94	62	82
20	92	94	62	82
21	92	94	62	82
22	92	93	62	82
23	86	88	62	82
24	83	89	62	82

Таблиця 1.5. Результати розрахунку графіків електр. навант.

№ з/п	Зимові дні						Літні дні					
	Робочі дні			Вихідні дні			Робочі дні			Вихідні дні		
	P, кВт	Q, квар	S, кВА	P, кВт	Q, квар	S, кВА	P, кВт	Q, квар	S, кВА	P, кВт	Q, квар	S, кВА
1	1247	721	1440	899	672	1122	1060	613	1224	764	571	954
2	1131	704	1332	899	672	1122	961	599	1132	764	571	954
3	1261	745	1465	899	672	1122	1072	633	1245	764	571	954
4	1261	745	1465	899	672	1122	1072	633	1245	764	571	954
5	1232	729	1432	899	672	1122	1047	620	1217	764	571	954
6	1261	745	1465	899	672	1122	1072	633	1245	764	571	954
7	1247	721	1440	899	672	1122	1060	613	1224	764	571	954
8	1290	753	1494	899	672	1122	1097	640	1270	764	571	954
9	1420	819	1639	841	639	1056	1207	696	1393	715	543	898
10	1449	819	1664	841	639	1056	1232	696	1415	715	543	898
11	1449	819	1664	841	639	1056	1232	696	1415	715	543	898
12	1362	762	1561	841	639	1056	1158	647	1326	715	543	898
13	1290	753	1494	841	639	1056	1097	640	1270	715	543	898
14	1348	811	1573	841	639	1056	1146	689	1337	715	543	898
15	1435	819	1652	841	639	1056	1220	696	1405	715	543	898
16	1449	819	1664	841	639	1056	1232	696	1415	715	543	898
17	1391	786	1598	841	639	1056	1183	668	1359	715	543	898
18	1247	721	1440	841	639	1056	1060	613	1224	715	543	898
19	1334	770	1540	899	672	1122	1133	654	1308	764	571	954
20	1334	770	1540	899	672	1122	1133	654	1308	764	571	954
21	1334	770	1540	899	672	1122	1133	654	1308	764	571	954
22	1334	762	1536	899	672	1122	1133	647	1305	764	571	954
23	1247	721	1440	899	672	1122	1060	613	1224	764	571	954
24	1203	729	1407	899	672	1122	1023	620	1196	764	571	954

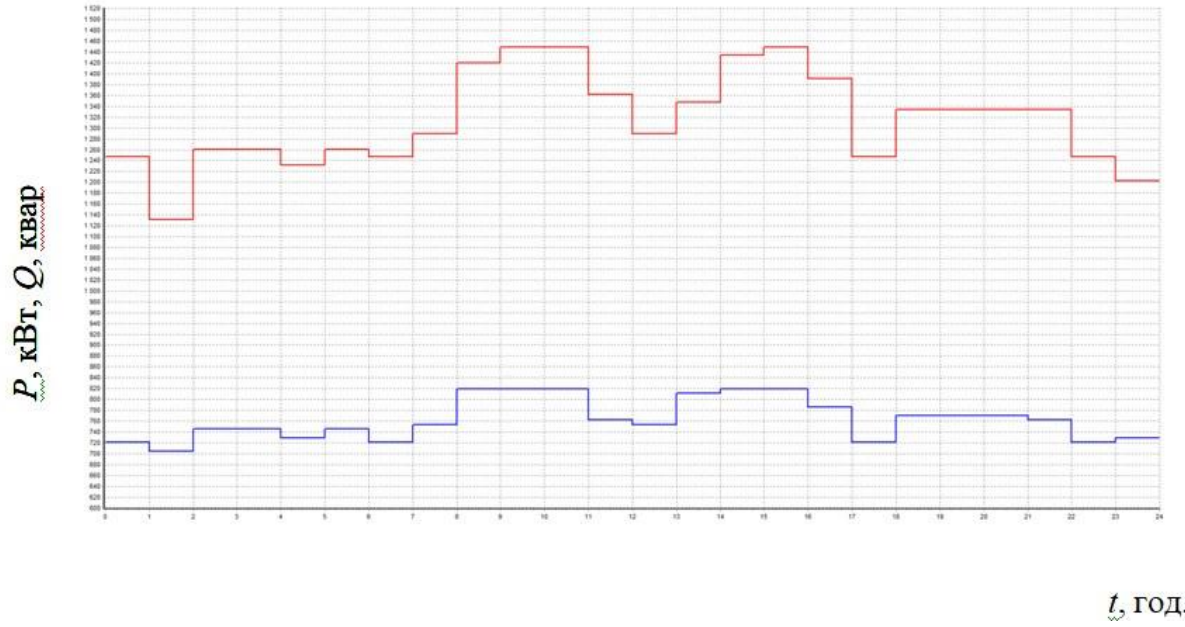


Рис. 1.1. Добові графіки активн. (*P*) і реактивн. (*Q*) потужн. (зим. роб. дні)

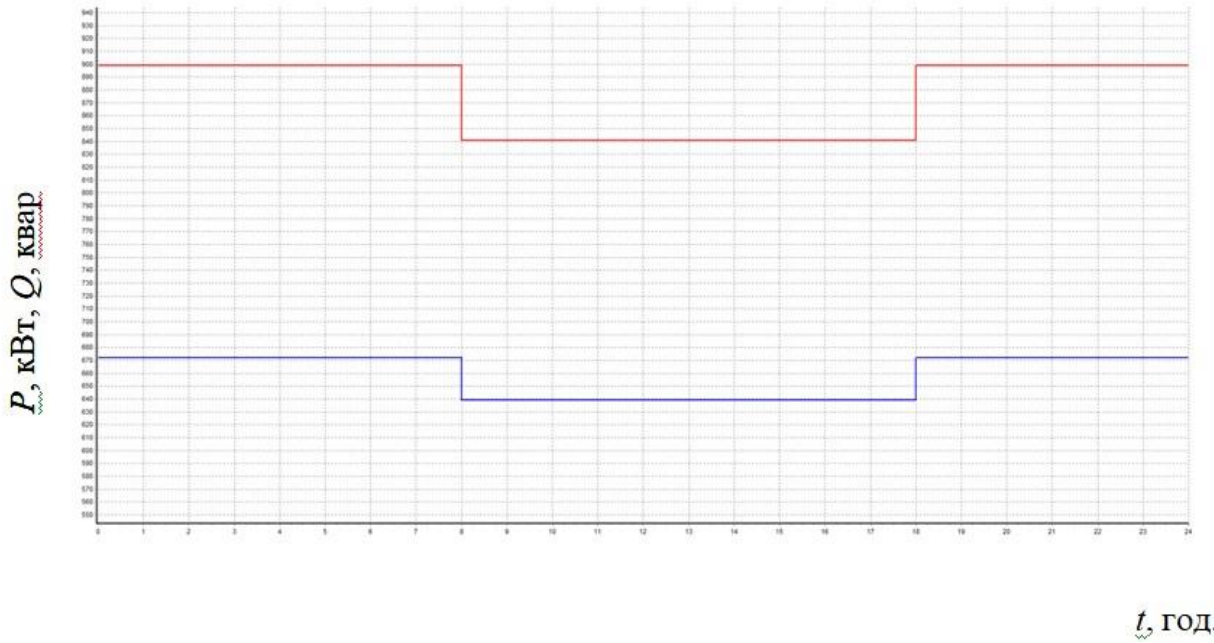


Рис. 1.2. Добові графіки активн. (*P*) і реактивн. (*Q*) потужн. (зим. вих. дні)

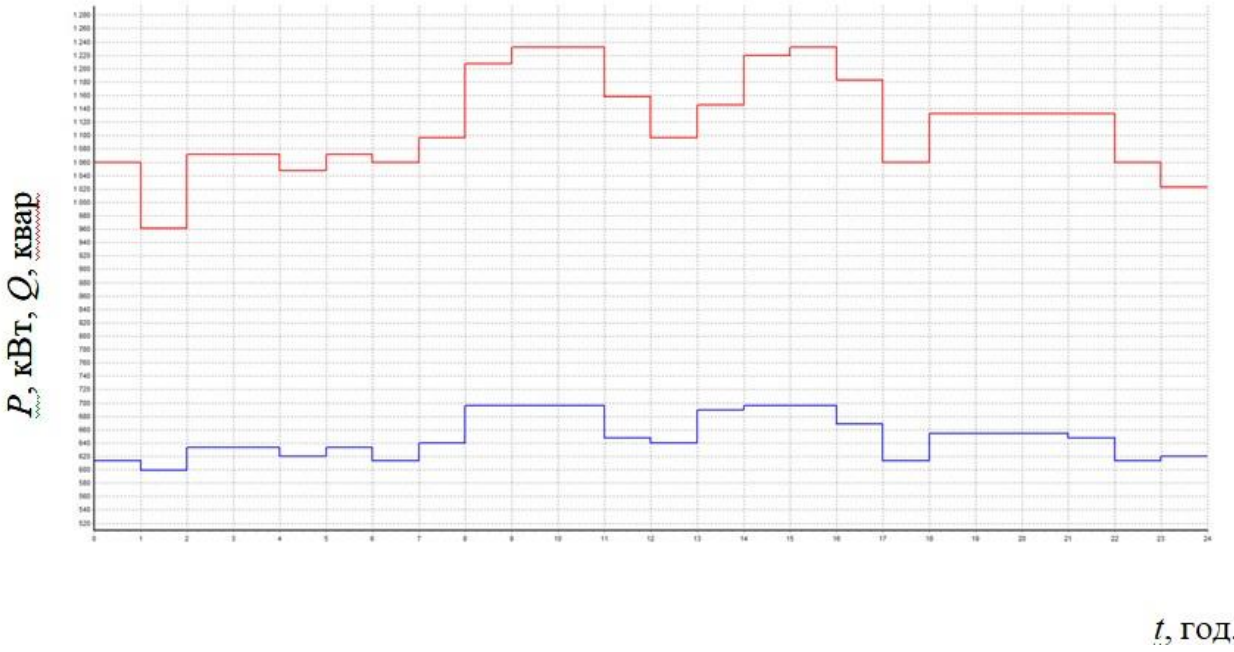


Рис. 1.3. Добові графіки активн. (*P*) і реактивн. (*Q*) потужн. (літн. роб. дні)

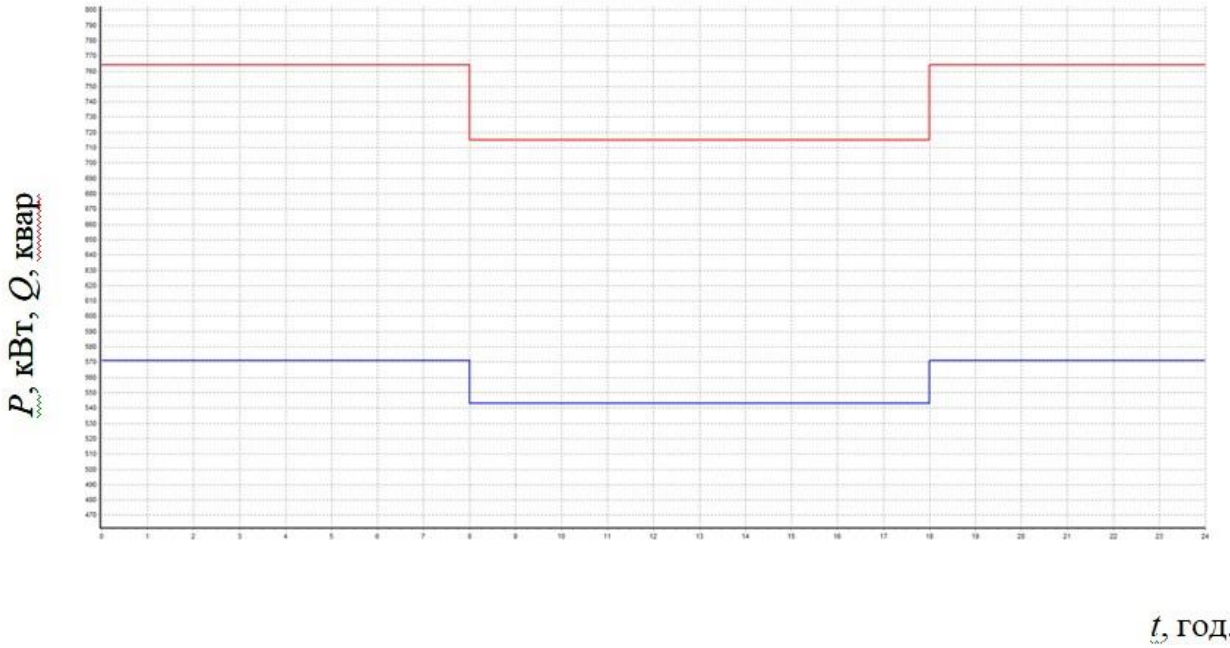


Рис. 1.4. Добові графіки активн. (*P*) і реактивн. (*Q*) потужн. (літн. вих. дні)



Рис. 1.5. Річний графік активн. потужн. (*P*) за тривалістю

Таблиця 1.6. Результати розрахунків графіків електр. навант.

№ з/п	Величина	Значення	Од. виміру
1	$S_р$	1664,84	МВА
2	Wз.р.	4638732	кВт·год
3	Vз.р.	2692011	квар·год
4	Wз.в.	1364740	кВт·год
5	Vз.в.	1026870	квар·год
6	Wл.р.	2816415	кВт·год
7	Vл.р.	1634115	квар·год
8	Wл.в.	856608	кВт·год
9	Vл.в.	644352	квар·год
10	Wр	9676495	кВт·год
11	Vр	5997348	квар·год
12	$T_м$	6838,083	год
13	$\tau_м$	5716,375	год

РОЗДІЛ 2
КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Наведемо приклад розрахунку картограми для основного корпусу:

$$R_9 = \sqrt{\frac{P_9}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{P_{\text{р.осв}} + P_{\text{р.сил}}}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{68{,}67 + 814{,}24}{3{,}14 \cdot 0{,}0625}} = 212{,}04 \text{ мм}$$

$$\alpha_9 = \frac{P_{\text{р.осв.}} \cdot 360}{P_9} = \frac{68{,}67 \cdot 360}{882{,}94} = 28{,}00°$$

Розрахунок параметрів для інших цехів проводиться подібним чином (табл. 2.1).

Координати центру електр. навант.:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i \cdot P_i}{\sum_{i=1}^{n} P_i} = \frac{278415{,}19}{1484{,}13} = 187{,}59 \text{ м}$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^{n} Y_i \cdot P_i}{\sum_{i=1}^{n} P_i} = \frac{211800{,}54}{1484{,}13} = 142{,}71 \text{ м}$$

Таблиця 2.1. Картограма електр. навант.

№ п/п	Найменування	$P_{р.сил}$, кВт	$P_{р.осв}$, кВт	$P_р$, кВт	m	R, мм	α	x, м	y, м	$P \cdot x$, кВт · м	$P \cdot y$, кВт · м
1.	Харчовий блок	144,67	3,5	148,17	0,00625	86,86	8,50	280,37	152,35	41542,42	22573,70
2.	Корпус комп'ютерної томографії	95,95	2,21	98,16	0,00625	70,70	8,11	238,74	123,10	23434,72	12083,50
3.	Киснева станція	70	1,14	71,14	0,00625	60,19	5,77	178,99	110,43	12733,35	7855,99
4.	Поліклініка	87,22	13,32	100,54	0,00625	71,55	47,69	129,58	88,38	13027,97	8885,73
5.	Профілакторій	81,51	14,08	95,59	0,00625	69,77	53,03	102,67	132,45	9814,23	12660,90
6.	Котельня	19,96	0,43	20,39	0,00625	32,22	7,59	40,05	161,65	816,62	3296,04
7.	Господарчий корпус	32,09	6,09	38,18	0,00625	44,09	57,42	270,70	209,80	10335,33	8010,16
8.	Паталого-анатомічний корпус	25,03	1,85	26,88	0,00625	37,00	24,78	66,33	162,99	1782,95	4381,17
9.	Основний корпус	814,27	68,67	882,94	0,00625	212,04	28,00	186,36	149,18	164544,70	131716,99
10.	Територія всього медичного закладу	0	2,14	2,14	0,00625	10,44	360,00	178,93	157,18	382,91	336,37
	Всього	**1370,70**	**113,43**	**1484,13**						**278415,19**	**211800,54**

РОЗДІЛ 3
ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СХЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

3.1 Вибір схеми зовнішнього електропостачання

Вибір схеми зовнішнього електропостачання проводиться згідно методики, яка передбачає визначення мінімальних приведених затрат.

Згідно з завданням, медичний заклад може отримувати живлення від підстанції 35/10 кВ, розміщений на відстані 7,3 км від медичного закладу. Тому доцільним є порівняння 2 варіантів схем живлення:

I. Схема з КЛ напругою 10 кВ.

II. Схема з ПЛ 35 кВ та ГЗП 35/10 кВ.

На рис. 3.1 наведено схеми для цих варіантів.

Варіант I. Схема з КЛ 10 кВ (рис. 5.1 а).

Розрах. Струм КЛ, А:

$$I_{\max} = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1664,8}{\sqrt{3} \cdot 10} = 96,12$$

Обираємо 2 КЛ АСБ-10(3х25) з такими технічними даними: $I_{доп} = 90$ А, $\Delta P_{1км} = 5$ кВт/км, $K_{КЛ} = 25$ тис. грн./км.

Перевіряємо за нагрівом в нормальному та аварійному режимах:

$$I_p = 48,06 \text{ А} \leq K_n I_{доп} = 0,92 \cdot 90 = 82,8 \text{ А}$$

$$I_{р.ав} = 2I_p = 2 \cdot 48,06 = 96,12 \text{ А} \leq K_{ап} K'_n I_{доп} = 1,25 \cdot 1 \cdot 90 = 112,5 \text{ А}$$

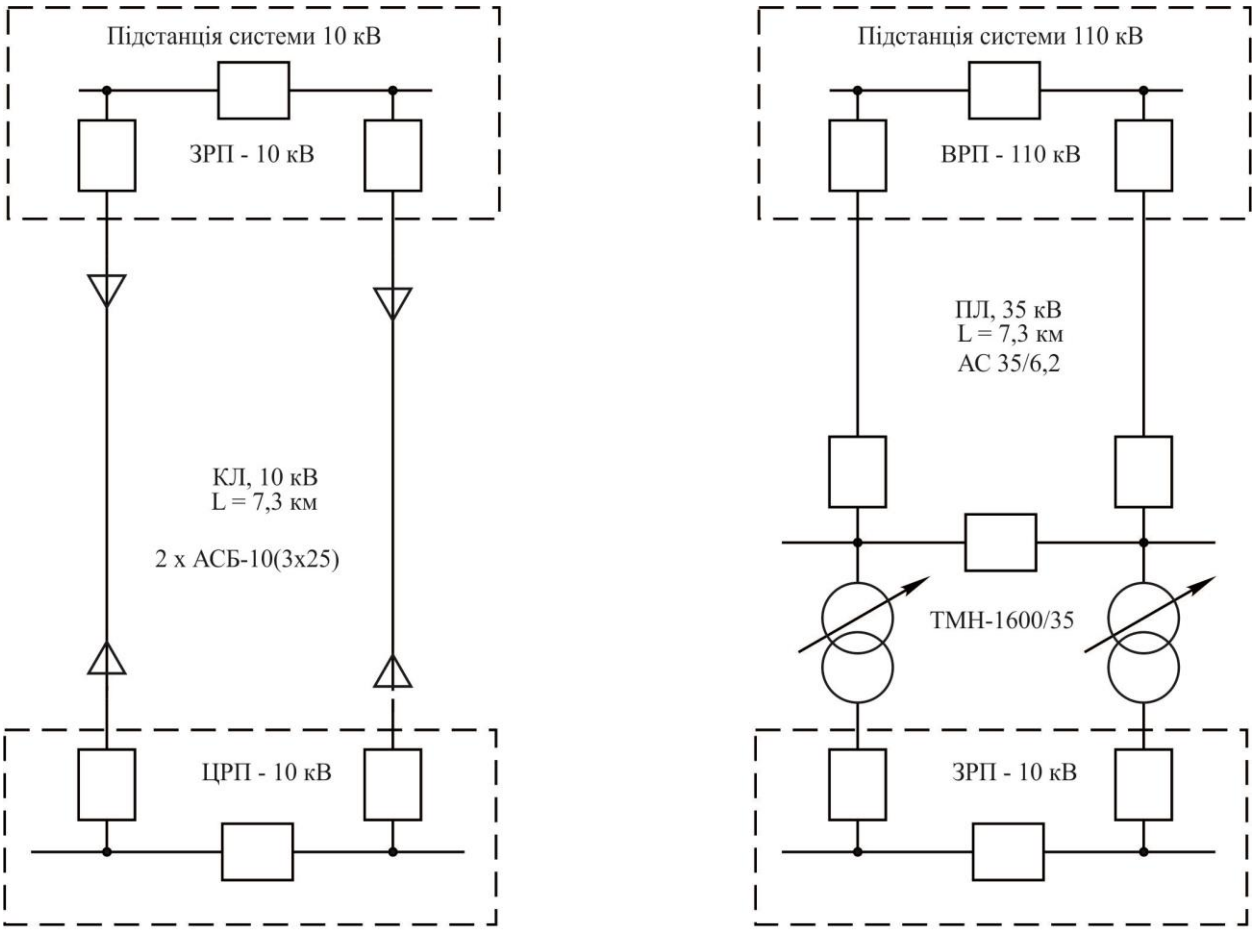


Рис. 3.1. Варіанти схем зовн. електропостачання

Вибрані КЛ задовольняють умовам перевірки.

Коеф. завантаження КЛ в норм. режимі:

$$K_з = \frac{I_р}{I_{доп}} = \frac{48,06}{90} = 0,53$$

Розрахунок втрат електроенергії:

$$\Delta P_{кл} = \Delta P_{1км} l_\Sigma K_з^2 = 5 \cdot 14,6 \cdot 0,2809 = 20,51 \quad кВт$$

$$\Delta W_л = \Delta P_л \tau = 20,51 \cdot 5716,38 = 117242,95 \quad кВт·год.$$

$$C_{втр} = \Delta W_\Sigma C_0 = 117242,95 \cdot 5,09 \cdot 0,001 = 596,77 \quad тис.грн.$$

Розрахунок капітальних вкладень 1-го варіанту наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Розрахунок капітальних вкладень 1-го варіанту

№ вар.	*Назва елемента*	*Одиниця*	*Кількість*	*Вартість*	*Всього*
1	КЛ 10 кВ	км	14,6	25	365
	Траншея	км.	7,3	17,37	126,801
	Шафи КРП серії КУ-10	шт.	2	10,7	21,4
Всього					513,201

В табл. 3.2 наведено розрахунок поточних витрат 1-го варіанту

Таблиця 3.2. Розрахунок поточних витрат для 1-го варіанту

№ вар	*Назва елемента*	$К_j$, тис.грн.	$Р_{aj}$, %	$С_{aj}$, тис.грн.	$Р_{эj}$, %	$С_{aj}$, тис.грн.	$С_j$, тис.грн.
1	КЛ 10 кВ	365	5	18,25	5	18,25	36,5
	Траншея	126,801	5	6,34005	5	6,34005	12,6801
	Шафи КРП серії КУ-10	21,4	15	3,21	5	1,07	4,28
Всього							53,4601

Збиток від перерви електропостачання:

Значення параметрів надійності КЛ і вимикача:

- вимикач: $T_в$ = 0,45 ·10^{-3} рік, $\lambda_а$= 4·10^{-3} 1/рік, $K_п$ = 2·10^{-3} в.о.

- кабельна лінія: $T_в$ = 0,511 ·10^{-3} рік, $\lambda_а$= 0,584 1/рік, $K_п$ = 0,0657·10^{-3} в.о.

$$\lambda = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i = 0{,}004 + 0{,}584 = 0{,}588 \quad 1/\text{рік}$$

$$T_в = \frac{\sum \lambda_i T_{вi}}{\lambda} = \frac{(0{,}004 \cdot 0{,}00045 + 0{,}584 \cdot 0{,}000511)}{0{,}588} = 0{,}00051059 \quad \text{рік}$$

$$K_п = 1{,}2 K_{п\max} = 1{,}2 \cdot 0{,}002 = 0{,}0024$$

$$K_a = \lambda T_в = 0{,}588 \cdot 0{,}0005105850340136 05 = 0{,}000300224$$

$$K_{ап} = 0.5\lambda K_п^2 = 0{,}5 \cdot 0{,}588 \cdot 0{,}00000576 = 0{,}00000169344$$

$$K_a^{(2)} = K_a^2 + 2K_{ап} = 0{,}00000009013445 + 2 \cdot 0{,}00000169344 = 0{,}000003477$$

$$T_a = K_a^{(2)} \cdot 8760 = 0{,}000003477 \cdot 8760 = 0{,}03046$$

$$У = У_0 P_{ср} T_a = 37 \cdot 1{,}13 \cdot 0{,}03046 = 1{,}27$$

Зведені витрати для 1-го варіанту, тис. грн./рік:

$$З_i = E_н K_i + C_i + C_{втр.i} + У_i = 0.12 \cdot 513{,}201 + 53{,}4601 + 596{,}77 + 1{,}27 = 713{,}08$$

Подібним чином здійснюється розрахунок і для 2-го варіанту

Порівнюємо різні варіанти схеми в табл. 3.3.

Таблиця 3.3. Техніко-економічні показники варіантів

Показники	*Варіанти*	
	1	*2*
Капітальні вкладення	513,201	1752,27
Поточні витрати	53,4601	304,73
Вартість втрат електроенергії	596,77	1010,11
Збиток	1,27	1,79
Зведені витрати	*713,08*	*1526,9*

З табл. 3.3 видно, що 1-й варіант схеми економічно вигідний, тому в подальших розрахунках приймаємо саме його.

3.2 Вибір схеми внутрішнього електропостачання

Для медичного закладу більш доцільною є радіальна схему електропостачання. Обґрунтовується це тим, що для медичного закладу критично важливою є надійність живлення. Радіальна схема дозволяє організувати живлення

споживачів від двох незалежних джерел (наприклад, різних трансформаторів або підстанцій). При аварійному відключенні одного джерела навантаження автоматично переключається на резервне джерело.

Також застосування радіальних кабельних ліній 10 кВ значно спрощує організацію релейного захисту, автоматичного ввімкнення резерву, оскільки немає складних розгалужених контурів.

За потреби кабельні лінії можна секціонувати вимикачами на окремі ділянки. Це дозволяє підвищити надійність, відділяючи пошкоджену ділянку від решти системи.

Для електропостачання споживачів особливої групи I категорії надійності відповідно до вимог ПУЕ мають бути передбачені три незалежні взаєморезервуючі джерела живлення.

В якості третього джерела живлення передбачається дизель-генераторна установка, що забезпечує автоматичний запуск і підключення при зникненні живлення від інших джерел.

РОЗДІЛ 4
РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Метою розділу є розрахунок режимів реакт. потужн.

4.1 Розрахунок балансу реактивної потужності

Сумарне споживання потужностей:

$$P_p = P_н + \Delta P_т + P_е = 1313{,}47 + 18{,}21 + 0 = 1331{,}68 \text{ кВт}$$

$$Q_p = Q_н + \Delta Q_т + Q_е = 676{,}68 + 93{,}23 + 0 = 769{,}91 \text{ кВАр}$$

Реакт. потужн. Q з системи:

$$Q_е = P_p \cdot tg\,\varphi_c = 1331{,}68 \cdot 0{,}15 = 199{,}75 \text{ кВАр}$$

Потужність компенс. пристроїв:

$$Q_{КП} = Q_p - Q_е = 769{,}91 - 199{,}75 = 570{,}16 \text{ кВАр}$$

Мін. к-сть трансформаторів:

$$N_0 = \frac{P_н}{\beta \cdot S_{ном}} = \frac{1313{,}47}{0{,}7 \cdot 250} = 7{,}51 \approx 8 \text{ шт.}$$

Варіант 1. $N = N_0 = 8$ шт.

Реакт. потужн. Q, що може бути передана з сторону 10 кВ на сторону 0,38 кВ:

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot \beta \cdot S_{ном})^2 - P_н^2} = \sqrt{(8 \cdot 0{,}7 \cdot 250)^2 - 1313{,}47^2} = 484{,}56 \text{ кВАр}$$

Потужність компенс. пристроїв до 1 кВ та 10кВ:

$$Q_{КН} = Q_н - Q_1 = 676{,}68 - 484{,}56 = 192{,}12 \text{ кВАр}$$

$$Q_{КВ} = Q_p - Q_{КН} - Q_е = 769{,}91 - 192{,}12 - 199{,}75 = 378{,}04 \text{ кВАр}$$

Розрахунок компенс. пристроїв для $N_0 + 1$, $N_0 + 2$ проводиться подібним чином (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 Розрахунок балансу реакт. потужн.

№ варіанту	*Кількість тр-торів*	Q_1, *кВАр*	$Q_{КН}$, *кВАр*	$Q_{КВ}$, *кВАр*
1	8	484,56	192,12	378,04
2	9	869,15	0	570,16
3	10	1156,42	0	570,16

4.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючи пристроїв

Розрахунок потужн. ком пенс. пристроїв 0,4 кВ, 10 кВ для 3-х варіантів зведено в табл. 4.2 - 4.4.

Таблиця 4.2. Результати вибору батарей конденсаторів ($N_т$ = 8 шт.)

№ КТП	*К-сть т-рів*	$P_р$, *кВт*	$Q_р$, *кВАр*	$Q_{пр}$, *кВАр*	$Q_{кп}$, *кВАр*	*Кількість та потужність БК, шт.·кВАр*	*Сума* $Q_{БК}$, *кВАр*	$Q_{кп}$ - $Q_{бк}$, *кВАр*	$K_з$	$S_р$, *кВА*
1	1	173,51	47,59	22,79	24,8	1·50;	50	-25,2	0,69	173,527
2...5	7	1162,02	629,09	387,73	241,36	5·50;	250	-8,64	0,7	1222,29

Батареї конд. 0,4 кВ: 300 кВар.; батареї конд. 10 кВ: 2х150=300 кВар.

Таблиця 4.3. Результати вибору батарей конденсаторів ($N_т$ = 9 шт.)

№ КТП	*К-сть т-рів*	$P_р$, *кВт*	$Q_р$, *кВАр*	$Q_{пр}$, *кВАр*	$Q_{кп}$, *кВАр*	*Кількість та потужність БК, шт.·кВАр*	*Сума* $Q_{БК}$, *кВАр*	$Q_{кп}$ - $Q_{бк}$, *кВАр*	$K_з$	$S_р$, *кВА*
1	2	173,51	47,59	303,96	0		0	0	0,36	179,918
2...5	7	1162,02	629,09	387,73	241,36	5·50;	250	-8,64	0,7	1222,29

Батареї конд. 0,4 кВ: 250 кВар.; батареї конд. 10 кВ: 2х150=300 кВар.

Таблиця 4.4. Результати вибору батарей конденсаторів ($N_т$ =10 шт.)

№ КТП	К-сть т-рів	$P_р$, кВт	$Q_р$, кВАр	$Q_{пр}$, кВАр	$Q_{кп}$, кВАр	Кількість та потужність БК, шт.·кВАр	Сума $Q_{БК}$, кВАр	$Q_{кп}$ - $Q_{бк}$, кВАр	$K_з$	$S_р$, кВА
1	2	173,51	47,59	303,96	0		0	0	0,36	179,918
2...5	8	1162,02	629,09	780,84	0		0	0	0,66	1321,38

Батареї конд. 0,4 кВ: 0 кВар.; батареї конд. 10 кВ: 4х150=600 кВар.

Варіант 1. N=8шт.

Втрати активної потужності:

$$\Delta P_{КН} = P_{ПИТ}^{КН} \cdot Q_{КН} = 0{,}0045 \cdot 300 = 1{,}35 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{КВ} = P_{ПИТ}^{КВ} \cdot Q_{КВ} = 0{,}003 \cdot 300 = 0{,}9 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{ТП} = \frac{P_{НН}^2 + Q_1^2}{U_Н^2} R_Т \cdot 10^{-3} = \frac{1313{,}47^2 + 484{,}56^2}{10^2} \cdot 0{,}62 \cdot 0{,}001 = 12{,}15 \text{ кВт}$$

Опір силових тр-рів:

$$R_{екв} = \frac{\Delta P_К \cdot U_{ном}^2}{N \cdot S_{ном}^2} \cdot 10^3 = \frac{3{,}1 \cdot 10^2}{8 \cdot 250^2} \cdot 1000 = 0{,}62 \text{ Ом}$$

Вартість КП та ТП:

$$K_{КН} = \sum_{i=1}^{n} N_{КНi} \cdot K_{КНi} = 6 \cdot 3{,}28 = 19{,}68 \text{ тис.грн.}$$

$$K_{КВ} = \sum_{i=1}^{n} N_{КВi} \cdot K_{КВi} = 2 \cdot 3{,}3 = 6{,}6 \text{ тис.грн.}$$

$$K_{КТП} = N_{КТП(2)} \cdot K_{КТП(2)} + N_{КТП(1)} \cdot K_{КТП(1)} =$$
$$= 3 \cdot 638 + 2 \cdot 337{,}5 = 2589 \text{ тис.грн.}$$

Приведені витрати:

$$З = E_Н \left(K_{КН} + K_{КВ} + K_{КТП}\right) + C_0 \tau \left(\Delta P_{КН} + \Delta P_{КВ} + \Delta P_{ТП}\right) =$$
$$= 0{,}12 \cdot (19{,}68 + 6{,}6 + 2589) + 5{,}09 \cdot 5716 \cdot (1{,}35 + 0{,}9 + 12{,}15) \cdot 10^{-3} =$$
$$= 732{,}79 \text{ тис.грн.}$$

В табл. 4.5 наведено результати розрахунку приведених витрат для 3-х варіантів компенс. реакт. потужн.

Таблиця 4.5. Розрахунок привед. витрат на компенсацію реакт. потужн.

№ вар.	$Q_{кн}$, *кВАр*	$\Delta P_{кн}$, *кВт*	$Q_{кв}$, *кВАр*	$\Delta P_{кв}$, *кВт*	$N_{тр}$, *шт.*	$R_{екв}$, *Ом*	$S_{пр}$, *кВА*	$\Delta P_{тп}$, *кВт*	$К_{кн}$, *тис. грн.*	$К_{кв}$, *тис. грн.*	$К_{ктп}$, *тис. грн.*	З, *тис. грн.*
1	300	1,35	300	0,9	8	0,62	1400	12,15	19,68	6,6	2589	732,8
2	250	1,13	300	0,9	9	0,55	1575	13,64	16,4	6,6	2889,5	805,4
3	0	0	600	1,8	10	0,5	1750	15,31	0	13,2	3190	882,2

З розрахунків видно, що витрати **1-го варіанту** є мінімальними. Тому його і приймаємо для подальших розрахунків.

РОЗДІЛ 5
ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДПРИЄМСТВА

Вибір трансформатора ТП-1:

$$K_з = \frac{S_р}{n_т S_{ном т}} = \frac{185,84}{1 \cdot 250} = 0,74,$$

$$S_{ном т} = 250 \geq \frac{S_р}{K_1} = \frac{185,84}{1,08} = 172,07 \quad ,$$

$$S_{ном т} = 250 \geq \frac{S_р}{K_2} = \frac{185,84}{1,4} \approx 132,74 \quad ,$$

ТМ-250/10/0,4 задовольняє умовам вибору.

В табл. 5.1 наведено вибір інших цехових підстанцій.

Таблиця 5.1. Вибір цехових ТП

№ ТП	К-сть	$S_{роз}$, кВА	$K_з$	$S_{ном} > S_р/K_1$	$S_{ном} > S_р/K_2$
ТП-1	1	185,84	0,74	172,07	132,74
ТП-2	2	393,27	0,79	364,14	280,91
ТП-3	2	393,27	0,79	364,14	280,91
ТП-4	2	393,27	0,79	364,14	280,91
ТП-5	1	196,63	0,79	182,07	140,45

РОЗДІЛ 6
РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ

6.1 Розрахунок струмів коротких замкнень

Вирішення задачі визначення струмів к.з. починається зі складання схеми для розрахунку (рис. 6.1), та схеми заміщення (рис. 6.2).

Визначимо опори елементів.

$$X_c = \frac{U_c^2}{S_{к.з.}} = \frac{10{,}5^2}{110} = 1{,}002 \text{ Ом}$$

$$R_c = \frac{X_c}{25} = \frac{1{,}002}{25} = 0{,}04 \text{ Ом}$$

КЛ 10 кВ (2хАСБ-10(3х25), 7,3, км):

,

$$R_{кл} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{кл}} = \frac{1{,}24 \cdot 7{,}3}{1} = 9{,}052 \text{ Ом}$$

$$X_{кл} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{кл}} = \frac{0{,}099 \cdot 7{,}3}{1} = 0{,}72 \text{ Ом}$$

Розрахунок КЗ в точ. К1:

$$X_{K1} = X_c + X_{кл} = 1{,}002 + 0{,}72 = 1{,}722 \text{ Ом}$$

$$R_{K1} = R_c + R_{кл} = 0{,}04 + 9{,}052 = 9{,}092 \text{ Ом}$$

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2} = \sqrt{9{,}092 + 1{,}722^2} = 9{,}254 \text{ Ом}$$

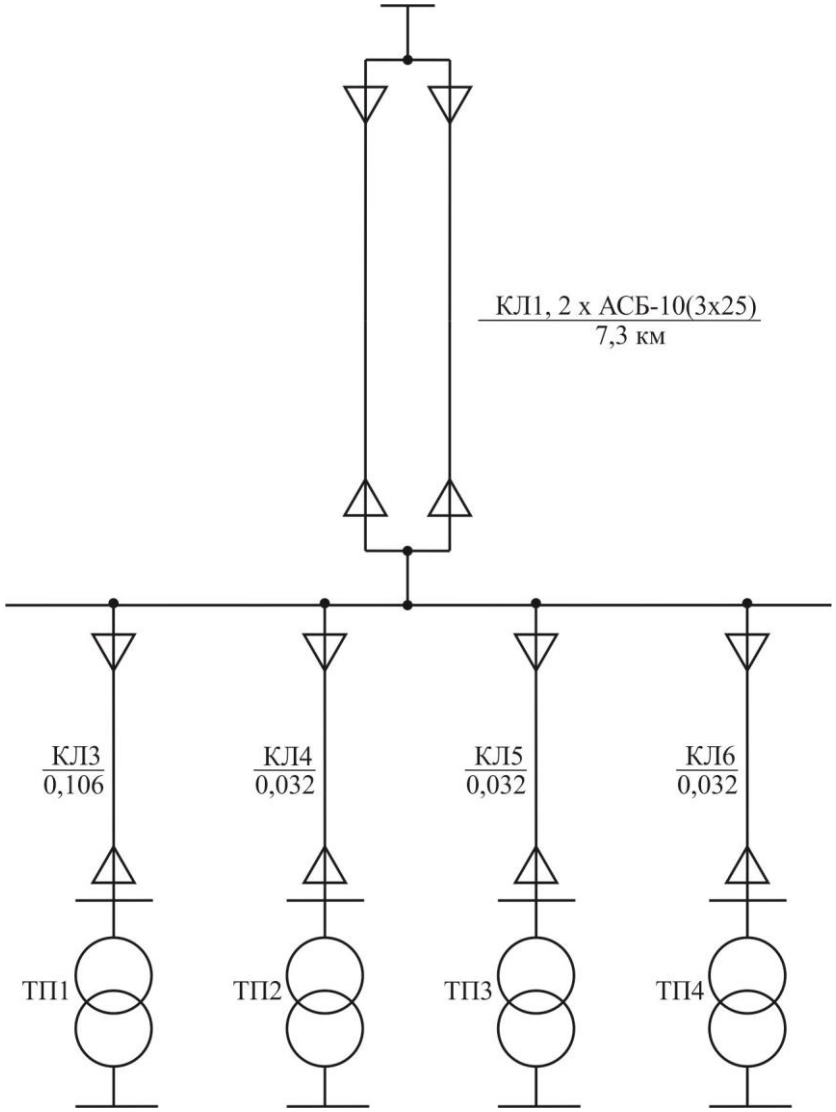


Рис. 6.1 Розрах. схема

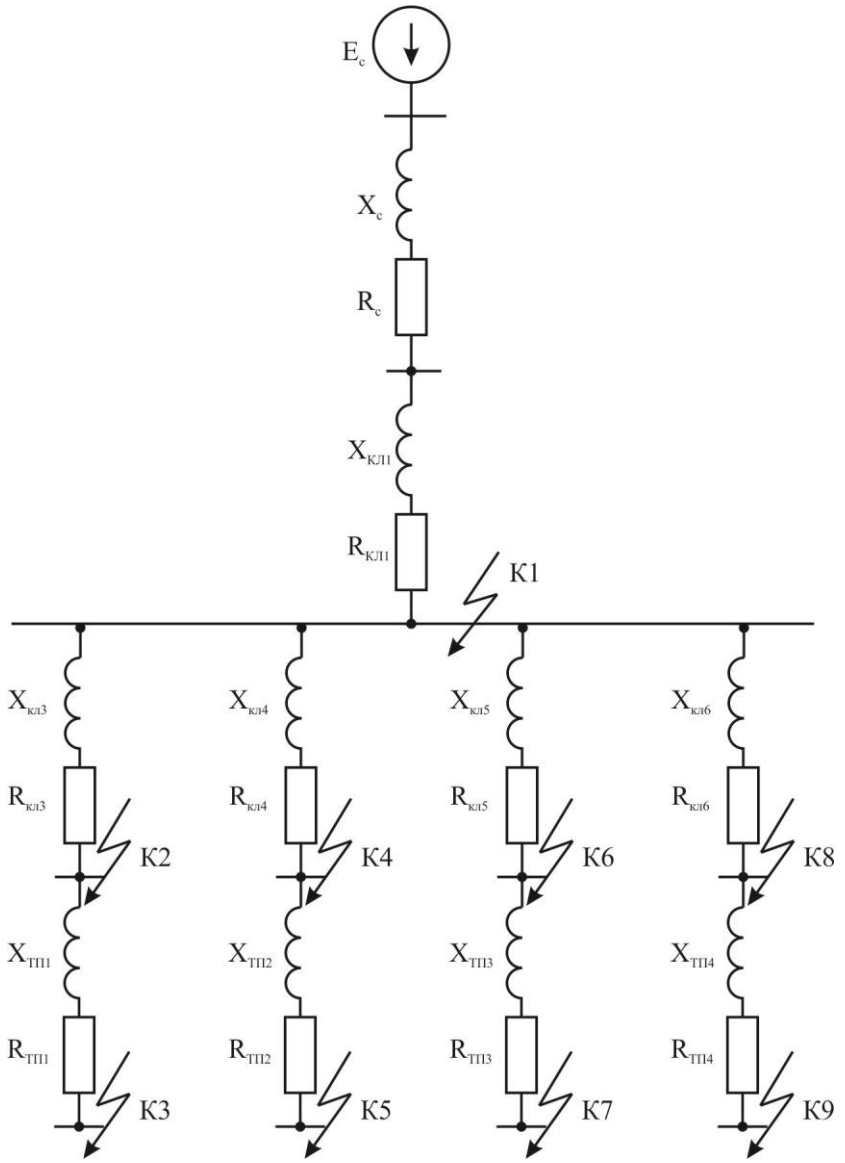


Рис. 6.2 Схема заміщ.

$$I''_{K1(c)} = \frac{U_{ср.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K1}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 9,254} = 0,66 \text{ кА}$$

$$T_{a1} = \frac{X_{K1}}{\omega R_{K1}} = \frac{1,722}{314 \cdot 9,092} = 0,0006 \text{ с}$$

$$k_{уд1} = 1 + e^{\frac{-0.01}{T_{a1}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0006}} = 1$$

$$i_{уд1(c)} = \sqrt{2}k_{уд}I''_{K1(c)} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 0,66 = 0,93 \text{ кА}$$

Розрахунок лінії КЛ3:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{ср.ном}} = \frac{185,84}{1 \cdot 1,73 \cdot 10,5} = 10,22 \text{ А}$$

$$B_к = I''^2_{K1}\left(t_{р.з.\min} + T_a\right) = 0,66^2(1,365 + 0,0006) = 0,59 \text{ кА}^2\text{с}$$

$$F_{\min} = \frac{1}{C}\sqrt{B_к} = \frac{1}{94}\sqrt{0,59} \cdot 10^3 = 8,17 \text{ мм}^2$$

Обираємо ААШв-10(3 х 25) ($I_{доп\ кл}$ = 90,0 А, $x_{0кл3}$ = 0,099 Ом/км, $r_{0кл3}$ = 1,24 Ом/км)

$$R_{кл} = r_0 \cdot l_{кл} = 1,24 \cdot 0,106 = 0,131 \text{ Ом}$$

$$X_{кл} = x_0 \cdot l_{кл} = 0,099 \cdot 0,106 = 0,01 \text{ Ом}$$

Для інших ліній параметри зведено в табл. 6.1.

Таблиця 6.1. Параметри кабельних ліній

№ КЛ	*l, км*	r_0, *Ом/км*	x_0, *Ом/км*	*R, Ом*	*X, Ом*
1	7,300	1,240	0,099	9,052	0,723
3	0,106	1,240	0,099	0,131	0,010
4	0,032	1,240	0,099	0,040	0,003
5	0,032	1,240	0,099	0,040	0,003
6	0,032	1,240	0,099	0,040	0,003

Розрахунок КЗ в точ. К2:

$$X_{K2} = X_{K1} + X_{кл} = 1{,}722 + 0{,}01 = 1{,}732 \text{ Ом}$$

$$R_{K2} = R_{K1} + R_{кл} = 9{,}092 + 0{,}131 = 9{,}223 \text{ Ом}$$

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2} = \sqrt{9{,}223^2 + 1{,}732^2} = 9{,}384 \text{ Ом}$$

$$I_{K2}^{''} = \frac{U_{ср.ном.}}{\sqrt{3} Z_{K2}} = \frac{10{,}5}{\sqrt{3} \cdot 9{,}384} = 0{,}65 \text{ кА}$$

$$T_{a2} = \frac{X_{K2}}{\omega R_{K2}} = \frac{1{,}732}{314 \cdot 9{,}223} = 0{,}0006 \text{ с}$$

$$k_{уд2} = 1 + e^{\frac{-0.01}{T_{a2}}} = 1 + e^{\frac{-0{,}01}{0{,}0006}} = 1$$

$$i_{уд2} = \sqrt{2} k_{уд} I_{K2}^{''} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 0{,}65 = 0{,}92 \text{ кА}$$

Опори ТП1:

$$R_{тр} = \frac{\Delta P_к U^2_{ср.ном}}{S^2_{ном}} = \frac{3{,}1 \cdot 10{,}5^2}{250^2} \cdot 10^3 = 5{,}468 \text{ Ом}$$

$$X_{тр} = \frac{U_{к,\%} U^2_{ср.ном}}{S_{ном}} = \frac{4{,}5 \cdot 10{,}5^2}{250} \cdot 10 = 19{,}845 \text{ Ом}$$

Результуючі опори в точ. К3:

$$X_{К3} = (X_{К2} + X_{тр})\left(\frac{U_{нн}}{U_{вн}}\right)^2 = (1{,}732 + 19{,}845)\left(\frac{0{,}4}{10{,}5}\right)^2 = 0{,}0313 \text{ Ом}$$

$$R_{К3} = (R_{К2} + R_{тр})\left(\frac{U_{нн}}{U_{вн}}\right)^2 = (9{,}223 + 5{,}468)\left(\frac{0{,}4}{10{,}5}\right)^2 = 0{,}0213 \text{ Ом}$$

$$Z_{К3} = \sqrt{R^2_{К3} + X^2_{К3}} = \sqrt{0{,}0213^2 + 0{,}0313^2} = 0{,}0379 \text{ Ом}$$

Розрахунок К3 в точ. К3:

$$I''_{К3} = \frac{U_{ср.ном.}}{\sqrt{3} Z_{К3}} = \frac{0{,}4}{\sqrt{3} \cdot 0{,}0379} = 6{,}09 \text{ кА}$$

$$T_{а3} = \frac{X_{К3}}{\omega R_{К3}} = \frac{0{,}0313}{314 \cdot 0{,}0213} = 0{,}0047 \text{ с}$$

$$k_{уд3} = 1 + e^{\frac{-0.01}{T_{а3}}} = 1 + e^{\frac{-0{,}01}{0{,}0047}} = 1{,}119$$

$$i_{уд3} = \sqrt{2} k_{уд} I''_{К3} = \sqrt{2} \cdot 1{,}119 \cdot 6{,}09 = 9{,}64 \text{ кА}$$

Розрахунок струмів коротких зам. для інших точок показані в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 Розрахунок струмів коротких замкнень

№ точки к.з.	*R, Ом*	*X, Ом*	$I_к''$, *кА*	T_a, *с*	$k_{уд}$	$i_{уд}$, *кА*
1	9,0920	1,7220	0,66	0,0006	1,000	0,93
2	9,2230	1,7320	0,65	0,0006	1,000	0,92
3	0,0213	0,0313	6,09	0,0047	1,119	9,64
4	9,1320	1,7250	0,65	0,0006	1,000	0,92
5	0,0212	0,0313	6,11	0,0047	1,119	9,67
6	9,1320	1,7250	0,65	0,0006	1,000	0,92
7	0,0212	0,0313	6,11	0,0047	1,119	9,67
8	9,1320	1,7250	0,65	0,0006	1,000	0,92
9	0,0212	0,0313	6,11	0,0047	1,119	9,67

6.2 Вибір кабельних ліній напругою 10 кВ

Розрахунок лінії КЛ4 до ТП2:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{ср.ном}} = \frac{393{,}27}{2 \cdot 1{,}72 \cdot 10{,}5} = 10{,}81 \text{ А}$$

Обираємо ААШв-10(3х25), $I_{доп}$ = 90 А.

$$I_p = 10{,}81 \text{ А} \le K_n \cdot I_{доп} = 0{,}9 \cdot 90 = 81 \text{ А}$$

$$I_{ав} = 21{,}62 \text{ А} \le K_{ап} \cdot K_n' \cdot I_{доп} = 1{,}35 \cdot 1 \cdot 90 = 121{,}5 \text{ А}$$

$$B_к = I_{К1}''^2\left(t_{р.з.\min} + T_a\right) = 0{,}66^2(1{,}365 + 0{,}0006) = 0{,}59 \text{ кА}^2\text{с}$$

$$F_{\min} = \frac{1}{C}\sqrt{B_к} = \frac{1}{94}\sqrt{0{,}59} \cdot 10^3 = 8{,}17 \text{ мм}^2$$

В табл. 6.3 приведені результати розрах. з вибору інших ліній.

Таблиця .6.3. Вибір кабельних ліній

№ КЛ	n, шт	$S_р$, МВА	$I_р$, А	$I_{р.ав.}$, А	$B_к$, $кА^2 с$	F_{min}, $мм^2$	Марка кабеля	$I_{доп}$, А	$K_п$	$K_п I_{доп}$, А	$K_{ап}$	$K'_п$	$K_{ап} K'_п I_{доп}$, А
1	2	1664,8	45,77	91,54	0,59	8,17	2 х АСБ-10(3 х 25)	90	0,9	81	1,35	1	121,5
3	1	185,84	10,22	-	0,59	8,17	1 х ААШв-10(3х25)	90	1	90	-	-	-
4	2	393,27	10,81	21,62	0,59	8,17	2 х ААШв-10(3х25)	90	0,9	81	1,35	1	121,5
5	2	393,27	10,81	21,62	0,59	8,17	2 х ААШв-10(3х25)	90	0,9	81	1,35	1	121,5
6	1	393,27	21,62	-	0,59	8,17	1 х ААШв-10(3х25)	90	1	90	-	-	-

6.3 Вибір електричних апаратів високої напруги

В цьому підрозділі було здійснено розрахунки з вибору високовольтних вимикачів та ОПН згідно методикою [1].

В табл. 6.4 приведені результати вибору ввідного вимикача

Таблиця 6.4. Вибір високовольтного ввідного вимикача

Параметр	*Умова вибору вимикача*	*Розрах.*
Ном. напруга, кВ	$U_{уст} \le U_{ном}$	$10 \le 10$
Довготр. струм,кА	$I_{роб.форс} \le I_{ном}$	$96{,}12 \le 630$
Відключаюча здатність: - симетричний струм: - апер. складова: - повний струм:	 $I_{n\tau} \le I_{відкл.ном}$ $i_{a\tau} \le \sqrt{2}\beta_н I_{відкл.ном}$ $\sqrt{2}I_{n\tau} + i_{a\tau} \le$ $\le \sqrt{2}I_{ном.відкл}(1+\beta_н)$	 $1{,}27 \le 20$ $0 \le 11{,}31$ $1{,}41 \cdot 1{,}27 + 0 <$ $< 1{,}41 \cdot 20 \cdot (1 + 0{,}4)$ $1{,}8 \le 39{,}6$
Динамічна стійкість: - симетричний струм: - ударний струм:	 $I'' \le I_{дин.ст}$ $i_y \le 1{,}8\sqrt{2}I_{дин.ст}$	 $1{,}27 \le 52$ $1{,}8 \le 132{,}37$
Термічна стійкість	$B_к \le I_{TH}^2 t_{TH}$	$2 \le 1200$

Розрахунок:

$$\tau = t_{рз.\min} + t_{с.в} = 0{,}5 + 0{,}042 = 0{,}542 \text{ с}$$

$$i_{a\tau} = \sqrt{2}I'' e^{\frac{-\tau}{T_a}} = 1{,}41 \cdot 1{,}27 \cdot e^{\frac{-0{,}542}{0{,}0009}} = 0 \text{ кА}$$

$$B_к = I''^2\left(t_{с.в.} + t_{рз.\max} + T_a\right) = 1{,}27^2\ (0{,}042 + 1{,}2 + 0{,}0009) = 2 \text{ кА}^2\text{с}$$

Обираємо ВР2-10-20/630.

Секційний вимикач та вимикачі на відхідних КЛ обираються аналогічно.

Для захисту мережі від перенапруг обираємо ОПН-10/420/12-УХЛ1.

6.4 Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб

На рис. 6.3. приведена схема підключення ТВП.

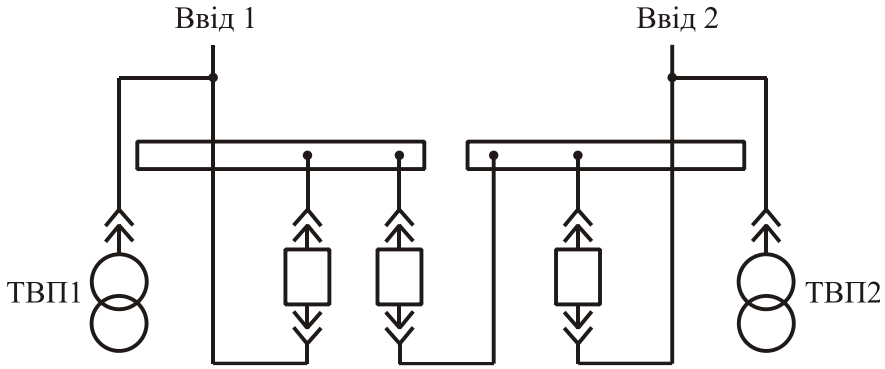


Рис. 6.3 Схема підключення ТВП

В табл. 6.5. приведено розрахунок електр. навант. ТВП

Таблиця 6.5. Розрахунок електр. навант. ТВП

№	*Споживачі ТВП*	$P_{ном}$ *кВт*	*n, шт.*	$P_{сум}$ *кВт*	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$P_{вст}$ *кВт*	$Q_{вст}$ *кВАр*
1.	Пристрої підігріву КРП	0,6	16	9,6	0,97	0,25	9,6	2
2.	Опалення і освітлення прим. операт. пер-лу	6	3	18	0,97	0,25	18	5
3.	Зовн. освітлення	4,5	4	18	0,97	0,25	18	5
4.	Спож. Операт. Колами	4,5	4	18	0,97	0,25	18	5
Всього							*64*	*17*

Сумарне електр. навант. ТВП:

$$S_{вст} = \sqrt{P_{вст}^2 + Q_{вст}^2} = \sqrt{64^2 + 17^2} = 66{,}22 \text{ кВА}$$

Розрах. потужн. ТВП:

$$S_p = K_c S_{вст} = 0{,}8 \cdot 66{,}22 = 52{,}98 \text{ кВА}$$

Обираємо ТВП **ТМ-40/10**.

Коефіцієнт завантаж.:

$$K_з = \frac{S_p}{n \cdot S_{ном}} = \frac{52{,}98}{2 \cdot 40} = 0{,}66$$

РОЗДІЛ 7
СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ ЗАКЛАДУ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я

7.1 Загальні положення розробки системи освітлення медичного закладу

1. Дотримання норм і стандартів

- Система освітлення має відповідати діючим нормам та стандартам для медичних закладів на національному та міжнародному рівнях.
- Врахування вимог до рівнів освітленості, показників якості світла, енергоефективності тощо.

2. Функціональне зонування

- Забезпечення належного рівня та якості освітлення для різних функціональних зон закладу: палати, операційні, коридори, кабінети і т.д.
- Врахування специфічних вимог для кожної зони.

3. Вибір джерел світла

- Використання енергоефективних та довговічних джерел світла, таких як світлодіоди.
- Забезпечення належних світлотехнічних характеристик: індекс кольоропередачі, колірна температура тощо.

4. Розрахунки освітленості

- Проведення світлотехнічних розрахунків для визначення потрібної кількості та розташування світильників.
- Врахування геометрії приміщень, відбиваючих властивостей поверхонь, розміщення робочих місць.

5. Світильники та прилади

- Вибір відповідних світильників з необхідними світлорозподілом, захистом від засліплення, стійкістю до впливу середовища.
- Світильники мають бути зручними для очищення та дезінфекції.

6. Резервне освітлення

- Наявність системи аварійного освітлення для безпеки при знеструмленні.

7. Керування освітленням

- Система керування освітленням з можливістю зонального регулювання, використання датчиків присутності тощо.

8. Енергоефективність

- Застосування сучасних енергозберігаючих технологій та рішень.
- Оптимізація споживання електроенергії системою освітлення.

7.2 Основні відомості про медичний заклад

Створення ефективної системи освітлення медичного закладу вимагає ретельного врахування численних чинників, притаманних конкретному об'єкту.

Першочергово необхідно з'ясувати тип медичного закладу (лікарня, спеціалізований центр, поліклініка тощо) та її основне призначення, адже ці фактори визначають специфічні вимоги до освітлення різноманітних зон. Надзвичайно важливо зібрати вичерпні відомості про кількість і габаритні розміри приміщень різного функціонального спрямування: палат, операційних блоків, кабінетів, коридорів тощо. Ці дані потрібні для належних світлотехнічних розрахунків.

Конструктивні особливості будівлі, такі як параметри приміщень, висота стель, використані матеріали та їхня відбивна здатність, також мають бути враховані для створення адекватної проектної документації. Орієнтація будівлі за сторонами світу і взаємне розташування з оточуючими спорудами впливатимуть на можливість застосування природного денного освітлення. Режим роботи установи (цілодобовий чи змінний) і графік завантаженості різних зон у неробочі години визначають потребу в гнучкому регулюванні системи освітлення.

Наявність критично важливих приміщень, наприклад операційних чи реанімаційних, вимагає запровадження резервних джерел безперебійного

освітлення задля забезпечення безпеки. Слід також врахувати енергетичну інфраструктуру будівлі та перспективи впровадження енергоефективних технологій освітлення, а також майбутні ремонтні роботи, реконструкції чи розширення, для яких система має бути гнучкою та легко модернізуватися.

Зокрема, необхідно приділити особливу увагу вимогам до освітлення різних функціональних зон. У палатах має забезпечуватися належна загальна освітленість із можливістю регулювання локальних джерел біля ліжок. Операційні блоки потребують надзвичайно високих рівнів освітлення робочих поверхонь без утворення засліплюючих ефектів чи тіней. У процедурних кабінетах важливо досягти достатньої освітленості для точних маніпуляцій. Коридори та холи мають бути рівномірно освітлені для безпечного переміщення, тоді як в адміністративних приміщеннях достатньо стандартного офісного освітлення.

Для коректної оцінки стану пацієнтів необхідно використовувати джерела світла з високим індексом кольоропередачі (Ra>80), що забезпечить достовірну передачу відтінків шкіри та слизових оболонок. Загалом, система освітлення має надавати можливість зональної регуляції рівнів освітленості, застосування датчиків присутності та врахування денного світла для економії енергії. Доцільно запровадити централізоване керування та моніторинг освітлення, а також гарантувати дотримання вимог безпеки шляхом вибору освітлювальних приладів підвищеної надійності й міцності.

7.3 Споживачі електричної енергії медичного закладу

Основними споживачами електричної енергії в медичній установі є система освітлення, різноманітне обладнання, системи життєзабезпечення будівлі та допоміжна інфраструктура. До системи освітлення належать світильники загального й локального призначення у палатах, операційних блоках, кабінетах, холах, офісних та господарських приміщеннях. Окремо передбачено аварійні освітлювальні прилади на випадок знеструмлення для гарантування безпеки.

Значну частку електроспоживання становить медичне обладнання: апарати штучної вентиляції легень, наркозні системи, дефібрилятори та інше реанімаційне спорядження, рентгенівські, ультразвукові, магнітно-резонансні та комп'ютерні томографи, фізіотерапевтичні пристрої, стерилізатори й автоклави. Системи опалення, вентиляції та кондиціонування споживають електроенергію для створення належного мікроклімату, особливо в зонах із підвищеними вимогами до чистоти повітря, приміром в операційних.

Холодильне господарство, представлене холодильними камерами й шафами для зберігання донорської крові, вакцин, лікарських препаратів, також є важливим споживачем електрики. Підйомно-транспортне обладнання, ліфти й підіймачі для транспортування пацієнтів рівним чином потребують електроживлення. Окрему категорію становлять системи очищення та знезараження стічних вод.

Офісне та побутове навантаження включає комп'ютери, периферійні пристрої, кондиціонери в адміністративних приміщеннях, а також електрочайники, мікрохвильові печі тощо. Системи зв'язку, безпеки, відеоспостереження та серверне обладнання також є споживачами електроенергії.

Живлення всіх згаданих споживачів зазвичай забезпечується наступним шляхом: будівля підключена до зовнішніх мереж електропостачання через розподільчі трансформаторні підстанції. У головному розподільчому пункті розміщуються вводи живильних ліній, вимикачі, трансформатори, система керування. Від нього струм подається до цехових чи поверхових розподільчих пунктів, які забезпечують живлення споживачів у певних зонах через групові щитки.

Для критично важливих зон, як-от операційні блоки чи відділення реанімації, резервні джерела електроживлення є обов'язковими. Ними можуть слугувати дизельні чи газопоршневі генераторні установки або системи гарантованого електроживлення з акумуляторними батареями. Не менш важливими є надійна система заземлення для безпечної експлуатації обладнання та система вирівнювання потенціалів для захисту від блукаючих струмів у разі витоків.

Проектування електропостачання мед.закладу вимагає ретельного

аналізу режимів роботи всіх споживачів з метою забезпечення безперебійного та надійного енергопостачання цілодобово. Оптимальне енергозбереження досягається шляхом впровадження інтелектуальних систем керування навантаженням і використання відновлюваних джерел енергії.

7.4 Аналіз можливих методів та засобів освітлення приміщень медичного закладу

Проектування системи освітлення медичної установи розпочинається з максимального залучення природного денного світла. Це досягається шляхом влаштування вікон, світлових ліхтарів, анідолічних пристроїв (лінзових та дзеркальних систем) для фокусування і перерозподілу сонячного проміння. Регулювання рівня природного освітлення забезпечуються жалюзі, завісами, розсіювачами.

В окремих випадках застосовуються світловоди - системи транспортування сонячних променів із даху всередину приміщень.

Щодо штучного освітлення, то для загального рівномірного підсвічування традиційно використовувалися світильники з люмінесцентними лампами.

Однак, сучасні тенденції схиляються до впровадження високоефективних світлодіодних панельних світильників, стельових приладів розсіяного випромінювання. Для досягнення бажаного світлорозподілу застосовуються в різні стельові чи підвісні освітлювальні прилади.

Окрему категорію становить місцеве підсвічування. В операційних залах використовуються спеціалізовані світильники для формування інтенсивного комбінованого випромінювання в робочій зоні. Біля ліжок палат передбачаються локальні світильники для зручного читання, прийому їжі тощо. У процедурних кабінетах встановлюються освітлювачі для підсвічування певних ділянок під час обстежень і маніпуляцій.

Оптимальні світлові умови створюються раціональним поєднанням загального та місцевого освітлення. Рівні освітленості можуть регулюватися в автоматичному та ручному режимах.

Для економії електроенергії впроваджуються системи з датчиками присутності й освітленості.

Спеціальним різновидом є лікувальне освітлення. Світлодіодні, флуоресцентні та комбіновані світильники певного спектрального складу випромінювання застосовуються для цілей фототерапії, відновлення циркадних ритмів. Прикладом є використання синього світла для опромінення новонароджених при фототерапії жовтяниці.

Окремо проектується система евакуаційного та аварійного освітлення. Вона складається з автономних світильників із вбудованими акумуляторними батареями, які автоматично вмикаються при знеструмленні. Основними типами є евакуаційні світильники, світлові покажчики виходів, аварійні освітлювачі для критичних робочих зон. Евакуаційні світильники встановлюються над виходами та вздовж шляхів евакуації з інтервалом до 25 м на висоті 2 м. Аварійні освітлювачі забезпечують мінімальне робоче освітлення в операційних, реанімації при вимкненні основного живлення. Час їх автономної роботи становить від 1 до 3 годин залежно від норм. Для безперебійного освітлення критичних зон також застосовуються централізовані системи резервного живлення з дизель генераторами.

В операційних задіяні спеціалізовані світильники, здатні концентрувати потужний світловий потік. Вони складаються з низки окремих світлодіодних джерел, діаметр світлової плями яких може регулюватись. Забезпечується рівномірний розподіл світла без тіней та засліплення персоналу. Присутні поляризаційні фільтри для зниження відблисків, інтеграція з мікроскопами та ендоскопами, повний контроль параметрів освітлення з пульта.

У реанімаційних, процедурних і діагностичних кабінетах застосовуються світлодіодні освітлювальні прилади з високим індексом кольоропередачі (Ra>90)

для точного відтворення кольорів шкіри та слизових. Використовуються операційні лампи на стійках для локального підсвічування під час процедур, настінні чи стельові світильники для загального освітлення приміщення. Передбачена можливість регулювання рівня та напрямку світлового потоку.

В реанімації додатково встановлюються аварійні світильники для критичних ділянок. У діагностичних кабінетах окремо підсвічуються робочі поверхні та пульти апаратури.

Для безпечного пересування в коридорах, холах, сходових клітинах забезпечується рівномірний розподіл освітленості без засліплень та різких перепадів яскравості. Застосовуються енергоефективні світлодіодні освітлювальні прилади.

В офісних та господарських приміщеннях використовуються стандартні світильники розсіяного та напівпрямого світла зі можливістю локального підсвічування робочих місць. Рекомендовано впровадження систем керованого освітлення з датчиками присутності й освітленості.

Для підвищення естетики інтер'єрів передбачається декоративне та акцентне освітлення вхідних зон, вітрин, інформаційних конструкцій шляхом застосування світлодіодних стрічок, лінійок, світильників для створення візуальних акцентів.

7.5 Вибір нормованих значень систем освітлення

Нормативні документи визначають граничні значення рівнів освітленості для різних функціональних зон медичного закладу.

- в палатах - 300 лк;
- в операційних - 400 лк;
- в реанімаційних, пологових - 500 лк;
- в процедурних, діагностичних – 500 лк;

• в коридорах, холах - 100-200 лк.

Окрім кількісних показників, наявні чіткі вимоги до якісних характеристик освітлення медзакладів. Індекс кольоропередачі джерел світла в більшості приміщень має бути не нижчим за 80 одиниць, тоді як в операційних та реанімаційних зонах - понад 90 одиниць. Це необхідно для забезпечення точної

диференціації відтінків шкірних покривів та слизових оболонок. Коефіцієнт пульсацій освітленості не повинен перевищувати 10% в операційних залах та 15% в інших функціональних зонах. Також важливим є захист від засліплення персоналу шляхом дотримання нормованих значень показника дискомфорту.

Окремі вимоги висуваються до систем аварійного та евакуаційного освітлення. Уздовж маршрутів евакуації обов'язковий мінімальний рівень освітленості 0,5 лк. У місцях розташування аварійних виходів цей показник має бути не меншим за 5 люксів. Час автономної безперебійної роботи евакуаційних освітлювальних приладів становить щонайменше 1 годину. В операційних та реанімаційних блоках має забезпечуватись резервне освітлення на рівні 20% від штатної потужності.

Одним з ключових факторів при проектуванні освітлення є енергоефективність. Рекомендовано широке застосування світлодіодних джерел світла з високим світловим ККД. Чинні норми встановлюють граничні значення густини потужності для внутрішнього освітлення будівель. Обов'язковим є використання систем керування освітленням та датчиків присутності для економії електроенергії.

Не менш важливою є електробезпека всієї системи освітлення. Необхідно дотримуватись норм із захисту від ураження електричним струмом. Усі світлотехнічні прилади повинні мати надійне захисне занулення та заземлення. Обов'язковим є застосування струмообмежувальних пристроїв і апаратури захисного відключення.

7.6 Вибір світлових приладів

Правильний підбір освітлювальних приладів є критично важливим для забезпечення належної якості освітлення, енергоефективності, безпеки та експлуатаційних характеристик усієї світлотехнічної системи. Основними критеріями вибору світильників є низка чинників.

Першочергово необхідно визначитися з типом джерела світла. Перевагу рекомендовано надавати сучасним світлодіодним освітлювачам завдяки їхній високій енергоефективності, тривалому терміну експлуатації та якісним світловим характеристикам. Втім, в окремих випадках можливе застосування люмінесцентних або газорозрядних ламп високого тиску.

Надзвичайно важливими є світлотехнічні параметри світильників - світловий потік, крива світлорозподілу для формування потрібної діаграми спрямованості світла. Необхідно забезпечити високі показники кольоропередачі - індекс Ra понад 80 одиниць для більшості приміщень та понад 90 для операційних зон. В окремих типах світильників має бути присутня можливість регулювання діаметра світлової плями, інтенсивності та температури кольору випромінювання.

Критично важливим чинником є ступінь захисту корпусу освітлювача від зовнішніх впливів. Для операційних блоків, санвузлів потрібні

пиловологозахищені світильники зі ступенем захисту IP65 і вище. Для приміщень із вибухонебезпечним середовищем світильники мають бути вибухозахищеного виконання.

Конструкція світильників також має відповідати специфіці їх застосування. Для економії простору доцільно обирати компактні вбудовані або настінні моделі. Для санітарних зон необхідні пилобризкозахищені світильники з гладкими поверхнями для зручного очищення. В операційних, реанімаційних зонах освітлювачі повинні мати антибактеріальне покриття.

Функціональні можливості світильників включають їх сумісність з системами керування освітленням та можливість інтеграції з іншим обладнанням, як-от операційні мікроскопи, ендоскопи.

Важливими критеріями є надійність і безпека. Перевагу слід надавати світильникам відомих виробників з наявними сертифікатами відповідності вимогам. З огляду на ризики розтріскування ламп, більшу безпеку забезпечують світлодіодні світильники з вторинною оптичною системою.

Фактор енергоефективності оцінюється показником світлової віддачі в люменах на ват споживаної потужності. Чим вищий цей показник, тим менші будуть експлуатаційні витрати на освітлення.

Вагомими критеріями є вартість впровадження системи освітлення з урахуванням ціни закупівлі світильників та їх монтажу, а також майбутні витрати на обслуговування і заміну джерел світла після закінчення терміну експлуатації.

Приклади світильників, що можуть використовуватись для освітлення різних зон медичного закладу, та їхні основні характеристики:

В коридорах,холлах та офісах приймаємо світлодіодні стельові світильники для загального освітлення з такими характеристиками:

- Потужність: 30-60 Вт
- Світловий потік: 3000-6000 лм
- Ступінь захисту: IP20, IP54
- Розсіяний або напівпрямий світлорозподіл
- Індекс кольоропередачі Ra>80

LidaRay LED-ДПО32В (потужність до 40Вт, 4800лм, IP54)

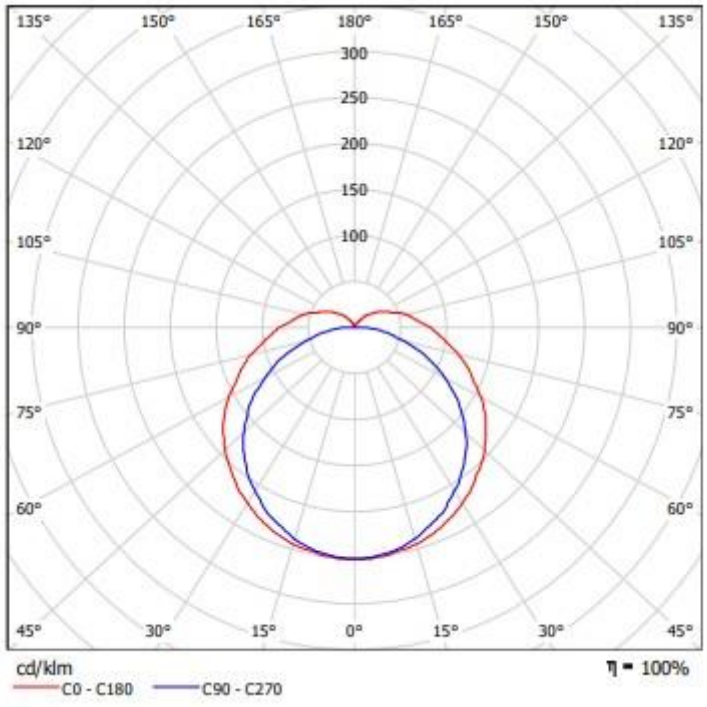


Рис.7.1 Крива сили світла світильника *LED-ДПО32В*

Для загального освітлення палат, кабінетів обираємо вбудовані світлодіодні панельні світильники з характеристиками:

- Потужність: 30-50 Вт
- Світловий потік: 3600-5000 лм
- Ступінь захисту: IP44, IP54
- Розсіяний світлорозподіл
- Ra>80

Ledvance LED Panel Value (потужність 40Вт, 4000лм, IP40)

Хірургічні світлодіодні світильники з характеристиками:

- Потужність: 50-100 Вт
- Діаметр світлового поля: 170-300 мм

- Ступінь захисту: IP65
- Ra>95, температура кольору 3500-5500К
- Регулювання параметрів з пульта

EMALED 630 (240мм, Ra>96, IP65)

Операційні світильники типу "лампа-чаша" з характеристиками:

- Потужність: 100-150 Вт
- Діаметр поля: 400-700 мм
- Ступінь захисту: IP65
- Ra>90, температура 3500-4500К

Biolite C (Ra>95, 700мм, IP65)

Світильники для локального підсвічування:

- Світлодіодні лампи на гнучкій стійці
- Потужність: 10-30 Вт
- Світловий потік: 1000-3000 лм
- Фокусування світлового потоку
- Ra>90 для процедурних кабінетів

Dazor 7810 (світлодіодна на стійці, 40Вт, Ra>95)

Евакуаційні світильники:

- Автономна робота 1-3 години
- Світловий потік: 30-200 лм
- Ступінь захисту: IP65

• Живлення від аккумулятора

EverLED CCA 1001 (автономія 3г, IP65)

7.7 Розрахунок коефіцієнта запасу

Під час виконання світлотехнічних розрахунків, як за допомогою спеціалізованих методик, так і використовуючи відповідне програмне забезпечення, слід брати до уваги можливе зниження рівня освітленості робочих поверхонь наприкінці терміну експлуатації освітлювальних приладів порівняно з початковим періодом. Це пов'язано з двома основними факторами: зменшенням світлового потоку джерел світла внаслідок їх старіння та деградацією світлового ККД через забруднення світлотехнічної арматури й запиленість внутрішнього простору приміщення.

Для гарантованого забезпечення нормативних значень освітленості наприкінці експлуатаційного циклу або перед плановим технічним обслуговуванням у світлотехнічні розрахунки, що ґрунтуються на точковому методі чи методі коефіцієнта використання, вводиться спеціальний коефіцієнт запасу. Він визначається як відношення значень світлового потоку, що надходить на робочу поверхню на початку та в кінці терміну експлуатації.

Зворотною величиною до коефіцієнта запасу є коефіцієнт експлуатації MF (Maintenance Factor), також відомий як коефіцієнт зменшення. Згідно з чинними методиками, коефіцієнт експлуатації MF розраховується за формулою:

$$MF = LLMF \cdot LSF \cdot LMF \cdot RSMF$$

де LLMF – коефіцієнт, що враховує деградацію світлового потоку джерел світла в освітлювальному приладі;

LSF – коефіцієнт, що враховує відношення кількості працюючих освітлювачів даного типу до їх загальної кількості в приміщенні;

LMF – коефіцієнт експлуатації конкретного типу освітлювального приладу;

RSMF – коефіцієнт експлуатації поверхонь, що обмежують внутрішній простір приміщення.

Значення цих коефіцієнтів встановлюються відповідно до ДБНВ.2.5-28:2018.

Зокрема, для LLMF зазвичай приймається 0,85.

Коефіцієнт LSF дорівнює 1 для терміну експлуатації 50000 годин.

Клас чистоти приміщень обирається згідно з їх функціональним призначенням: для виробничих і допоміжних зон – клас C, для решти – клас VC. При періодичності чищення один раз на рік, коефіцієнт експлуатації світильників LMF становить 0,94.

Значення RSMF, що характеризує експлуатацію внутрішніх поверхонь приміщення, зазвичай приймається 0,95.

Підставляючи наведені типові значення у вихідну формулу, отримуємо:

$$MF = 0{,}85 \cdot 1 \cdot 0{,}94 \cdot 0{,}95 = 0{,}759$$

Відповідно, коефіцієнт запасу, що є оберненою величиною до MF, дорівнюватиме:

$$k = \frac{1}{0{,}759} = 1{,}32$$

Таким чином, для забезпечення нормованих рівнів освітленості наприкінці експлуатаційного циклу необхідно закладати запас потужності системи освітлення в 1,32 рази вищий порівняно з початковими розрахунковими значеннями. Врахування всіх згаданих факторів на етапі проектування дозволить створити комфортні та безпечні світлові умови впродовж усього терміну служби системи освітлення.

Варто зауважити, що наведені типові значення коефіцієнтів можуть варіюватися залежно від конкретних умов експлуатації системи освітлення. Для досягнення більшої точності слід ретельно аналізувати специфіку об'єкта та

застосовувати обґрунтовані розрахункові значення. Професійний підхід дозволить оптимізувати проектні рішення та мінімізувати непродуктивні витрати.

7.8 Проектування електричної освітлювальної мережі медичного закладу

Система освітлення медичного закладу буде живитися від ввідного розподільчого пристрою (ВРП) через щити робочого освітлення (ЩО) та аварійного освітлення (ЩАО). Ці щити забезпечуватимуть електроенергією відповідні групові щити, розташовані в різних частинах будівлі.

Для забезпечення надійності та безперебійності роботи освітлювальної системи, пропонується використати схему живлення від двох трансформаторних підстанцій. При цьому, робоче та аварійне освітлення отримуватиме електроенергію від обох підстанцій, тоді як освітлення приміщень, які відносяться до особливої групи I категорії, додатково живитиметься від третього незалежного джерела, наприклад, дизель-генератора. Така схема гарантує безперервну роботу освітлення навіть у випадку відключення основних джерел живлення.

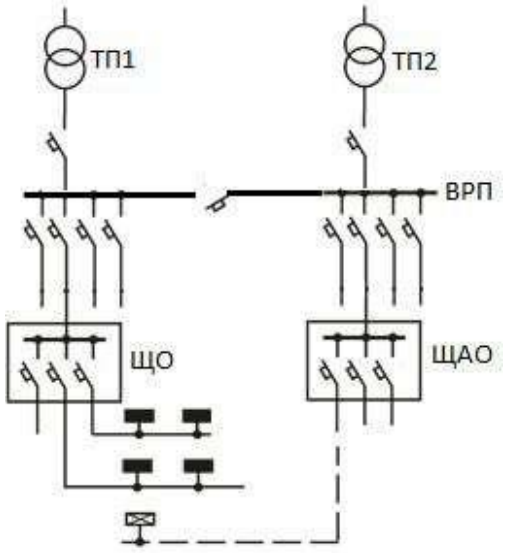


Рис. 7.1 Схема живлення освітлювальної установки

Щити освітлення, як робочого, так і аварійного, будуть встановлені в спеціально відведених щитових приміщеннях або в зонах з найзручнішим доступом до них. Це полегшить обслуговування та ремонт обладнання у разі необхідності.

Для забезпечення місцевого освітлення в офісних та медичних приміщеннях, передбачається встановлення електричних розеток з розрахунку 1 розетка потужністю 0,08 Вт на 1 $м^2$ площі. Ці розетки будуть підключені до окремих групових ліній, що дозволить зручно керувати ними та уникнути перевантаження мережі.

Підключення світлових приладів до освітлювальної електромережі здійснюватиметься за допомогою трижильних мідних кабелів марки ВВГнг-LS, які мають покращені характеристики пожежної безпеки та зниженої емісії диму. Для підключення щитів освітлення використовуватимуться п'ятижильні кабелі тієї ж марки.

Особливу увагу буде приділено мережам аварійного освітлення, які виконуватимуться спеціальними кабелями (N)HXH FE 180/E30 зі ступенем вогнестійкості E30. Ці кабелі мають підвищену стійкість до поширення полум'я та виділяють мінімальну кількість диму і шкідливих газів під час горіння, що є критично важливим для безпечної евакуації людей в екстрених ситуаціях.

7.9 Розрахунок електричної освітлювальної мережі по спаду напруги та вибір апаратів захисту

Формули для розрахунку:

1) Розрахунок навантаження:

Загальна потужність освітлення:

$$P_{\text{вст}} = P_N \cdot N_{\text{св}}$$

де, P_N - потужність одного світильника,

$N_{\text{св}}$ – кількість світильників.

Повне навантаження з урахуванням коефіцієнта попиту:

$$S = \frac{P_p}{cos\varphi}$$

де,$cos\varphi$ – коефіцієнт потужності,

P_p - розрахункова потужність.

$$P_p = P_{\text{вст}} \cdot K_{\text{поп}}$$

$K_{\text{поп}}$ – коефіцієнт попиту(одночасність роботи світильників)

2) Розрахунок перерізу провідників по спаду напруги:

Допустимий спад напруги:

$$\Delta U_{\text{доп}} = \frac{U_{\text{ном}} \cdot \alpha}{100}$$

де, $\Delta U_{\text{ном}}$- номінальна напруга,

α- допустимий відсоток спаду напруги (зазвичай 2,5-5%)

Момент навантаження:

$$M = P_p \cdot l$$

де, P_p – розрахункова потужність,

l – довжина лінії.

Переріз провідника:

$$q = \frac{M}{\gamma \cdot \Delta U_{\text{доп}}}$$

де, γ - питома провідність матеріалу провідника.

3) Вибір апаратів захисту:

Розрахунковий струм лінії (однофазний):

$$I_{\text{р}} = \frac{P_p}{U_{\text{ф}} \cdot cos\varphi}$$

де, $U_{\text{ф}}$ - напруга мережі 0,22 кВ,

Розрахунковий струм лінії (трифазний):

$$I_{\text{р}} = \frac{P_p}{U_{\text{л}} \cdot cos\varphi \cdot \sqrt{3}}$$

де, $U_{\text{л}}$ - напруга мережі 0,38 кВ.

Апарат захисту обирається за номінальним струмом

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{р}}$$

та за струмом спрацювання захисту від короткого замикання

$$I_{\text{КЗ}} \geq k \cdot I_{\text{р}}$$

де, $I_{\text{КЗ}}$ - струм спрацювання електромагнітного розчіплювала автомата, k – коефіцієнт кратності (зазвичай 1,25-1,4).

4) Узгодження з іншими інженерними системами:

Перевіряється взаємний вплив освітлювальної мережі з силовим електроустаткуванням

Розрахунок індуктивного опору взаємного впливу:

$$X_M = \omega \cdot M_{\text{вз}}$$

де, X_M - індуктивний опір взаємного впливу,

$M_{\text{вз}}$ - взаємна індуктивність між колами,

ω – кутова частота.

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

де, f - частота мережі, 50 Гц

Падіння напруги від взаємного впливу:

$$\Delta U_{\text{вз}} = I_{\text{р}} \cdot X_M$$

Також треба враховувати необхідність додаткових захисних заходів (зрівнювання потенціалів, екранування тощо)

Необхідність екранування визначається за умовою:

$$\Delta U_{\text{вз}} > \Delta U_{\text{доп}}$$

Опір розтікання заземлювача:

$$R_{\text{з}} = \frac{\rho \cdot K_{\text{ф}}}{L_{\text{з}}}$$

$R_з$ - опір розтіканню заземлювача,

ρ - питомий опір ґрунту,

$K_ф$ - коефіцієнт форми заземлювача,

$L_з$ - довжина заземлювача.

5) Розрахунок енергоефективності освітлення:

Показник енергоефективності:

$$\eta = \frac{E \cdot S}{P_р \cdot T}$$

η – показник енергоефективності, лм·м²/(Вт·год);

E - нормована освітленість, лк;

T - число годин використання освітлення за рік, год.

7.10 Вибір методу світлотехнічного розрахунку системи освітлення приміщень

Основою для методів світлотехнічного розрахунку систем освітлення є дві ключові залежності.

Перша з них використовується для обчислення середньої освітленості $E_{сер}$ на робочій поверхні і має вигляд:

$$E_{сер} = \frac{Ф}{S}$$

де Ф – сумарний світловий потік, що потрапляє на розрахункову поверхню,

S – площа приміщення, для освітлювальної системи якого здійснюється розрахунок.

Друга залежність базується на законі обернених квадратів відстаней і дозволяє розрахувати освітленість E_A в конкретній точці:

$$E_A = \frac{I_a \cdot cos\alpha}{l^2}$$

I_a – сила світла джерела або світлового приладу в напрямку до розрахункової точки,

α – кут між напрямом I та вектором нормалі до поверхні в точці розрахунку,

l – геометрична відстань від випромінювача до цієї точки.

Формула лежить в основі методу коефіцієнта використання світлового потоку, який враховує як пряму складову світлового потоку від світлових приладів, так і відбиту складову від поверхонь, що обмежують внутрішній простір приміщення.

Загальна формула для розрахунку в цьому методі має вигляд:

$$E = \frac{N\Phi_{сп}U}{Szk}$$

де N – кількість світлових приладів,

$\Phi_{сп}$ – їх світловий потік,

U – коефіцієнт використання світлового потоку,

z – коефіцієнт мінімальної освітленості,

k – коефіцієнт запасу.

Коефіцієнт використання U є одним з ключових елементів розрахунку і залежить від типу кривої сили світла світлового приладу, відбиваючих властивостей внутрішніх поверхонь приміщення (стелі, стін, підлоги), світлового ККД приладу та габаритних розмірів приміщення, які враховуються індексом

$$i = \frac{S}{h_p(a+b)}$$

або

$$i = 0{,}47\frac{\sqrt{S}}{h_p}$$

де h_p – розрахункова висота,

a і b – довжина і ширина приміщення.

U є добутком коефіцієнта корисної дії світильника η_c та коефіцієнта корисної дії приміщення η_n:

$$U = \eta_c \cdot \eta_n$$

Для світлодіодних світлових приладів можна прийняти $\eta_c \approx 1$, тоді

$$U = \eta_n$$

Значення η_n наводяться в залежності від типу кривої сили світла, коефіцієнтів відбивання поверхонь та індексу приміщення.

Метод на основі формули E_A можна застосовувати для розрахунку освітленості в конкретній точці. Вибір виразу залежить від типу світлового випромінювача відповідно до співвідношення його габаритів та відстаней до розрахункових точок. Випромінювачі поділяють на точкові, лінійні та поверхні, що світять. Якщо відношення розмірів світлових приладів до розрахункових висот не перевищує 0,2, їх можна вважати точковими.

Тоді вираз для освітленості має вигляд:

$$E_A = \frac{I_a \cdot cos^3 a}{{h_p}^2} \cdot (cos\theta \pm \frac{p}{h_p} sin\theta)$$

де θ – кут між площиною, перпендикулярною до оптичної осі світильника, та розрахунковою площиною;

α – кут між напрямом сили світла до точки та віссю симетрії приладу;

h_p – мінімальна відстань між приладом і горизонтальною площиною точки;

p – відстань між точкою та проекцією осі симетрії приладу на цю площину.

Недостатня точність визначення сили світла в напрямку до точки призводить до зростання похибок розрахунку, що особливо небажано для систем освітлення виробничих приміщень.

Крім того, точковий метод не враховує або враховує лише наближено відбиту складову освітленості.

Таким чином, точковий метод не дає повної картини про здатність освітлювальних установок забезпечити нормовані параметри на розрахункових площинах. Тому для розрахунку сумарного світлового потоку світлових приладів доцільніше використовувати метод коефіцієнта використання.

ВИСНОВКИ

Дослідження присвячене вирішенню проблеми проектування системи забезпечення електричною енергією медичної установи.

Обчислення силових електричних навантажень здійснювалося за методом коефіцієнта розрахункової потужності, тоді як для освітлювальних навантажень застосовувався метод питомої електричної потужності.

У ході роботи були проведені розрахунки, необхідні для побудови графіків електричних навантажень та визначення їхніх ключових параметрів. Шляхом обчислення показників картограми електричних навантажень вдалося встановити центр електричного навантаження.

Аналіз балансу реактивної потужності дозволив визначити оптимальну кількість та потужність компенсуючих пристроїв на рівнях напруги 10 кВ і 0,4 кВ.

Розрахунок струмів короткого замикання сприяв вибору високовольтного обладнання та визначенню необхідних перерізів проводів ліній електропередачі.

Крім того, в роботі було приділено увагу питанню вибору вимірювальних трансформаторів струму та напруги на рівні 10 кВ. Це дозволило забезпечити точність вимірювань та надійність функціонування системи.

Спроектована система електропостачання задовольняє основні вимоги, які висуваються до подібних систем. Вона забезпечує надійне та безперебійне постачання електричної енергії, враховує специфічні потреби медичного закладу та відповідає сучасним стандартам якості й безпеки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Електротехнічні системи електроспоживання : / П. Г. Плєшков, В. В. Зінзура, Н. Ю. Гарасьова. - Кропивницький : ЦНТУ, 2021. – 208 с.

2. Правила улаштування електроустановок / Міненерговугілля України. – Київ : 2017. – 617 с.

3. ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» / Мінрегіон України. – Київ: 2018. – 137 с.

4. ДБН В.2.2-10:2022 «Заклади охорони здоров’я. Основні положення» / Міністерство розвитку громад та територій України. – Київ: 2022. – 73 с.

5. Електропостачання: підручник / П. О. Василега. – Суми: СДУ, 2019. – 521 с.

6. Перехідні процеси в системах електропостачання / Г. Г. Півняк, В. Н. Винославський, А. Я. Рибалко, Л. І. Несен та ін. – Дніпропетровськ : Вид-во НГА України, 2000. – 378 с.

7. ДБН В.2.5-23:2010 «Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення» / Мінрегіонбуд України. – Київ: 2010. – 171 с.