

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____ П. Плешков
“ ____ ” _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

**«Розробка системи енергопостачання та
енергетичного контролю заводу по виробництву
радіоапаратури**

**Development of a power supply and energy control
system for a radio equipment production plant»**

Виконав здобувач вищої освіти
ІІІ курсу, групи ЕЕ-23мб
ОПП «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
спеціальності 141«Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____ Я. Кошовий
« ____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи
доцент, канд. техн. наук
_____ О. Сіріков
« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент _____

Міністерство освіти і науки України
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

_____ П. Плєшков

«_____» _____ 2026 р.

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

Кошового Ярослава Олеговича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи *Розробка системи енергопостачання та енергетичного контролю заводу по виробництву радіоапаратури*

Development of a power supply and energy control system for a radio equipment production plant

2. Керівник роботи *Сіріков Олександр Іванович, к.т.н., доцент*

(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту 01.06.2026 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи *Мета: розробка системи енергопостачання та енергетичного контролю заводу по виробництву радіоапаратури*

Завдання: 1. Вступ; 2. Коротка характеристика технологічного процесу підприємства та вивчення енергопотоків; 3. Розрахунок електричних навантажень; 4. Розрахунок теплових навантажень; 5. Гідравлічний розрахунок мережі та розрахунок теплової ізоляції; 6. Побудова графіків електричних навантажень; 7. Побудова картограми електричних та теплових навантажень; 8. Вибір напруги і електричних схем зовнішнього електропостачання; 9. Режимы реактивної потужності системи електропостачання; 10. Розрахунок струмів КЗ та вибір високовольтного обладнання і високовольтних мереж системи електропостачання; 11. Розробка системи контролю енергоресурсів; 12. Висновки; 13. Література.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Спеціальний розділ</i>	<i>доцент Н. Гарасьова</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ. Коротка характеристика технологічного процесу підприємства та вивчення енергопотоків</i>	<i>14.04</i>	
2	<i>Розрахунок електричних навантажень</i>	<i>18.04</i>	
3	<i>Розрахунок теплових навантажень</i>	<i>23.04</i>	
4	<i>Гідравлічний розрахунок мережі та розрахунок теплової ізоляції</i>	<i>27.04</i>	
5	<i>Побудова графіків електричних навантажень</i>	<i>30.04</i>	
6	<i>Побудова картограми електричних та теплових навантажень, і вибір раціонального місця розташування ГПП/ЦРП та джерел теплопостачання</i>	<i>04.05</i>	
7	<i>Вибір напруги і електричних схем зовнішнього електропостачання</i>	<i>08.05</i>	
8	<i>Режими реактивної потужності системи електропостачання</i>	<i>13.05</i>	
9	<i>Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання і високовольтних мереж системи електропостачання</i>	<i>18.05</i>	
10	<i>Розробка системи контролю енергоресурсів</i>	<i>21.05</i>	
11	<i>Висновки. Література</i>	<i>28.05</i>	
12	<i>Оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентаційних матеріалів</i>	<i>01.06</i>	

Дата видачі завдання

«___» _____ 2026 р.

Підпис керівника

_____ Сіріков О.І.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 2026 р.

Підпис здобувача

_____ Кошовий Я.О.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 85 с.; 11 рис.; 46 табл.; 7 джерел

Кошовий Я.О. Розробка системи енергопостачання та енергетичного контролю заводу по виробництву радіоапаратури. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – ЦНТУ, Кропивницький, 2026 рік.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці системи енергопостачання та енергетичного контролю заводу з виробництва радіоапаратури.

В роботі виконано аналіз технологічного процесу підприємства та досліджено структуру споживання енергоресурсів. Проведено розрахунок електричних навантажень освітлювальних і силових електроприймачів, визначено сумарні розрахункові навантаження підприємства та здійснено вибір кількості й потужності трансформаторних підстанцій. Розроблено систему зовнішнього електропостачання, виконано розрахунок режимів реактивної потужності та обрано компенсуючі пристрої для підвищення коефіцієнта потужності.

Проведено розрахунок теплових навантажень на опалення, вентиляцію та гаряче водопостачання, виконано гідравлічний розрахунок теплової мережі та визначено параметри теплової ізоляції трубопроводів. Здійснено побудову картограм електричних і теплових навантажень для обґрунтування раціонального розміщення енергетичних об'єктів.

В роботі виконано розрахунок струмів короткого замикання та вибір високовольтного обладнання та кабельних мереж. В спеціальному розділі розглянуто питання впровадження системи енергетичного контролю, спрямованої на підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів підприємства.

Ключові слова: електропостачання, теплопостачання, електричні навантаження, теплові навантаження, трансформаторна підстанція, компенсація реактивної потужності, струми короткого замикання, енергетичний контроль

ABSTRACT

Qualification work: 85 p.; 11 Fig.; 46 tables; 7 sources

Koshovyi Y.O. Development of a power supply and energy control system for a radio equipment production plant. - Manuscript.

Qualification work of the first (bachelor's) level of higher education in specialty 141 "Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics", EPP "Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". – Central National Technical University, Kropyvnytskyi, 2026.

The qualification work is devoted to the development of a power supply system and energy control of a radio equipment manufacturing plant.

The work analyzes the technological process of the enterprise and investigates the structure of energy consumption. The electrical loads of lighting and power electrical receivers are calculated, the total estimated loads of the enterprise are determined, and the number and power of transformer substations are selected. An external power supply system is developed, reactive power modes are calculated, and compensating devices are selected to increase the power factor.

The thermal loads for heating, ventilation, and hot water supply are calculated, a hydraulic calculation of the heat network is performed, and the parameters of thermal insulation of pipelines are determined. Cartograms of electrical and thermal loads are constructed to substantiate the rational placement of energy facilities.

The work calculates short-circuit currents and selects high-voltage equipment and cable networks. A special section considers the issue of implementing an energy control system aimed at increasing the efficiency of using the enterprise's fuel and energy resources.

Key words: power supply, heat supply, electrical loads, heat loads, transformer substation, reactive power compensation, short-circuit currents, energy control

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1. Коротка характеристика технологічного процесу об'єкту та вивчення енергопотоків.....	8
2. Розрахунок електричних навантажень підприємства.....	9
2.1. Розрахунок освітлювальних навантажень	9
2.2. Розрахунок електричних навантажень в мережах до 1000 В	9
2.4. Вибір кількості та потужності трансформаторних підстанцій.....	20
3. Розрахунок теплових навантажень.....	21
3.1. Розрахунок теплових навантажень на опалення.....	21
3.2. Розрахунок теплових навантажень на вентиляцію	22
3.3. Розрахунок теплових навантажень на гаряче водопостачання	22
4. Гідравлічний розрахунок теплової мережі та розрахунок теплової ізоляції	25
4.1. Гідравлічний розрахунок теплової мережі	25
4.2. Розрахунок теплової ізоляції.....	25
5. Побудова графіків електричних навантажень підприємства.	30
6. Побудова картограми електричних та теплових навантажень, і вибір раціонального місця розташування ГПП/ЦРП та джерел теплопостачання	35
7. Вибір напруги і електричних схем зовнішнього електропостачання.....	40
8. Режим реактивної потужності системи електропостачання.....	43
8.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв в високовольтних та низьковольтних мережах.....	43
8.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв підприємства	43
9. Розрахунок струмів коротких замикань та вибір високовольтного обладнання і високовольтних мереж системи електропостачання.....	48
9.1. Розрахунок струмів короткого замикання	48
9.2. Вибір кабелів напругою 10 кВ для високовольтної мережі	51
9.3. Вибір електричних апаратів високої напруги	52
9.4. Вибір потужності трансформаторів власних потреб ЦРП.....	54
10. Розробка системи контролю енергоресурсів.....	55
10.1. Вимоги до технічних засобів та організація системи АСКУЕ	55
10.2. Розробка системи комерційного та технічного обліку і контролю електроспоживання	65
10.3. Вибір трансформаторів струму та напруги для забезпечення обліку електричної енергії.....	72
10.4. Вибір обладнання для обліку природного газу	76
10.5. Визначення основної похибки вимірювального каналу	79
Висновки	83
Література	85

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.		Кошовий Я.О.						
Перевір.		Сіріков О.І.						
Н. Контр.		Сіріков О.І.						
Затв.		Плешков П.Г.						
					Літ.			Аркуші
								85
					ЦНТУ гр. ЕЕ-23мб			

Вступ

Організаційні принципи та інфраструктурна база сфери обліку паливно-енергетичних ресурсів в Україні на сьогодні залишаються практично не реформованими. За таких умов значна частина енергоносіїв витрачається безконтрольно та неефективно. Існуюча економічна модель функціонування галузі фактично нівелює стимули до заощадження: понаднормативні втрати енергоресурсів, зумовлені безгосподарністю, несанкціонованим відбором та низьким ККД застарілого обладнання, перекладаються безпосередньо на кінцевих споживачів або покриваються за рахунок бюджетних субсидій та дотацій.

На сучасному етапі підприємства, що здійснюють генерацію, транспортування та розподіл енергоресурсів, мають обмежені технічні та організаційні можливості для підвищення точності обліку, а також виявлення й локалізації комерційних втрат. Головним деструктивним чинником у цьому контексті є відсутність комплексної, гармонізованої системи правових та нормативно-технічних документів, які б регламентували контроль за використанням енергоносіїв на державному рівні.

Аналіз вітчизняної практики свідчить, що незадовільний стан обліку обумовлений не стільки недосконалістю апаратного чи технологічного забезпечення, скільки відсутністю системного підходу до організації облікових процесів загалом. Облік енергоносіїв та води слід розглядати не як формальну фіксацію обсягів, а як дієвий механізм стимулювання раціонального споживання з боку абонентів.

Наразі в Україні не сформовано цілісного законодавчого підґрунтя, яке б визначало єдину правову, економічну та технічну політику держави у сфері енергообліку. Поодинокі заходи щодо модернізації окремих приладів вимірювальної техніки мають фрагментарний характер, позбавлені реальних економічних стимулів для суб'єктів ринку і мають лише косметичний ефект. Вони не вирішують фундаментальних проблем організації саме комерційного обліку енергоресурсів на етапах їхнього руху від виробника до безпосереднього споживача.

1. Коротка характеристика технологічного процесу об'єкту та вивчення енергопотоків

Основні напрямки діяльності, продукції і послуг підприємства:

- комплексне проектування, виготовлення, іспити і постачання систем контролю і керування промислових об'єктів на базі найсучасніших індустріальних апаратно-програмних платформ і технологій, включаючи платформи власної розробки;

- розробка, виготовлення і постачання електронної апаратури для автоматизованих систем управління технологічними процесами атомних електростанцій і промислових підприємств;

- випробування систем і пристроїв;

- супровід і ремонт систем експлуатації;

- виготовлення та розробка світлодіодних освітлювальних установок.

Загальна чисельність робітників і фахівців - близько 1200 чоловік.

Вивчення енергопотоків.

Підприємство використовує електричну, теплову енергію і стисле повітря.

Електрична енергія використовується робочими станками і механізмами, широко використовується електрозварювання. На підприємстві є електролізні ванни для нанесення гальванічних покриттів на деталі. Електрична енергія використовується на виробництво вторинного енергоносія стислого повітря.

Теплова енергія використовується підприємством для опалення приміщень. Використання гарячої води або пари для технологічного процесу не передбачається. Власного джерела тепла на підприємстві немає тому при розробці системи теплопостачання доцільно буде розглянути варіант встановлення котельної установки на підприємстві. Отримує підприємство теплову енергії від місцевої котельні підприємства КП «ТЕПЛОЕНЕРГЕТИК».

На підприємстві використовується стисле повітря, яке призначено для пулівезаторів фарби малярного відділення. Підприємство має централізовану компресорну установку.

						Арк.
						8

2. Розрахунок електричних навантажень підприємства

2.1. Розрахунок освітлювальних навантажень

Розрахунок освітлювальних навантажень виконується по питомій потужності освітлювального навантаження на одиницю корисної площі виробничого приміщення. Розрахунок проводиться в табличній формі за методикою, що наведена в [1, 4-6]. Розрахунок представлено в табл. 2.1.

2.2. Розрахунок електричних навантажень в мережах до 1000 В

Розрахунок електричних навантажень напругою до 1000 В проводимо методом упорядкованих діаграм. Розрахунок проводиться в стандартній табличній формі за методикою наведеною в [1, 4-6]. Розрахунок представлено в табл. 2.2.

2.3. Розрахунок електричних навантажень в мережах вище 1000 В

Силові електричні мережі напругою понад 1000 В є базовим елементом сучасних систем електропостачання, оскільки саме вони забезпечують магістральне транспортування та розподіл значних обсягів електричної енергії до вузлових трансформаторних підстанцій, великих промислових комплексів та регіональних центрів навантаження.

Процедура розрахунку електричних навантажень у мережах вище 1000 В характеризується специфічними особливостями. Вони обумовлені високими рівнями робочих напруг, великою пропускнуою здатністю ліній, а також необхідністю ретельного аналізу технологічних втрат в елементах мережі та зворотного впливу споживачів на параметри якості електроенергії в системі.

Методика проведення розрахунку електричних навантажень в мережах вище 1000 В детально розглянута в [1, 4-6]. Розрахунок електронавантажень в силових мережах вище 1000 В наведений в табл. 2.3.

Навантаження по підприємству в цілому визначається аналогічно, як і навантаження окремих ТП.

						Арк.
						9

Таблиця 2.1. Розрахунок освітлювального навантаження.

№ п/п	Найменування підрозділу	F, м ²	P ₀ , Вт/м ²	P _y , кВт	tg	Q _y , квар	K _c	P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВА
1	Корпус №4	9000	16	144,00	0,48	69,12	0,9	129,60	62,21	143,8
2	Корпус №3	2400	16	38,40	1,73	66,43	0,9	34,56	59,79	69,1
3	Корпус №21	11300	16	180,80	1,73	312,78	0,9	162,72	281,51	325,2
4	Корпус №1	14670	16	234,72	1,73	406,07	0,9	211,25	365,46	422,1
5	Корпус №2	16240	16	259,84	1,73	449,52	0,9	233,86	404,57	467,3
6	ДК Радій	1750	18	31,50	0,48	15,12	0,9	28,35	13,61	31,4
7	Котельня	3000	14	42,00	1,73	72,66	0,9	37,80	65,39	75,5
8	Мазутосховище	272	12	3,26	1,73	5,65	0,6	1,96	3,39	3,9
9	Реагентне господарство	220	14	3,08	0,48	1,48	0,7	2,16	1,03	2,4
10	Компресорна	546	10	5,46	1,73	9,45	0,6	3,28	5,67	6,5
11	Корпус №22	9720	16	155,52	1,73	269,05	0,9	139,97	242,14	279,7
12	Корпус №23	11970	16	191,52	1,73	331,33	0,9	172,37	298,20	344,4
13	Гараж №1	200	10	2,00	1,73	3,46	0,6	1,20	2,08	2,4
14	Електроцех	800	12	9,60	1,73	16,61	0,9	8,64	14,95	17,3
15	Покрасочні бокси	300	14	4,20	1,73	7,27	0,9	3,78	6,54	7,6
16	Склад кольорових металів	1560	8	12,48	0,48	5,99	0,6	7,49	3,59	8,3
17	Гараж №2	200	10	2,00	1,73	3,46	0,6	1,20	2,08	2,4
18	Склад відходів	210	8	1,68	0,48	0,81	0,6	1,01	0,48	1,1
19	Склад кабельної продукції	400	8	3,20	1,73	5,54	0,6	1,92	3,32	3,8
20	Склад	1500	8	12,00	1,73	20,76	0,6	7,20	12,46	14,4
21	Насосна	144	10	1,44	1,73	2,49	0,6	0,86	1,49	1,7
22	Їдальня	950	18	17,10	0,48	8,21	0,9	15,39	7,39	17,1
23	Територія заводу	171000	0,1	17,10	1,73	29,58	1	17,10	29,58	34,2
Всього по підприємству				1372,90		2112,82		1223,7	1886,9	2249,0

Таблиця 2.2. Розрахунок електричних навантажень в мережі до 1000 В.

№	Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів	Кількість ел. споживачів	Встановлена потужність, кВт		m	Кв	cos	tg	Середнє навантаження за зміну		pe	Км	Розрахункова потужність,		
			Одного	Сумарна					Рср, кВт	Qср, квар			Рр, кВт	Qр, квар	Sp, кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Корпус №4														
	Вентилятори сантехнічні	6	0,5	- 30	100	60	0,6	0,8	0,8	60,00	45,00				
	Підйомно трансп обладнання	5	2,4	- 2,4	12	1	0,1	0,5	1,7	1,20	2,08				
	Електронагрівачі	30	0,5	- 7,5	150	15	0,6	0,9	0,5	90,00	43,59				
	Всього по корпусу №4	41	0,5	- 30	262	60	0,58	0,86	0,6	151,20	90,67	17	1,2	184,5	205,58
2	Корпус №3														
	Вентилятори сантехнічні	10	0,5	- 30	50	60	0,6	0,8	0,8	30,00	22,50				
	Підйомно трансп обладнання	12	2,4	- 2,4	29	1	0,1	0,5	1,7	2,90	5,02				
	Електронагрівачі	15	0,5	- 7,5	90	15	0,6	0,9	0,5	54,00	26,15				
	Всього по корпусу №3	37	0,5	- 30	169	60	0,51	0,85	0,6	86,90	53,68	11	1,3	116,3	128,08
3	Корпус №21														
	Вентилятори	12	2,2	- 22	180	10	0,6	0,8	0,8	108,00	81,00				
	Метало ріжучі станки	23	1,5	- 16	300	11	0,1	0,4	2,3	30,00	68,74				
	Сушільні установки	10	1,5	- 7,5	50	5	0,7	0,9	0,5	35,00	16,95				
	Підйомно трансп обладнання	13	2,2	- 32	320	15	0,1	0,5	1,7	32,00	55,43				
	Установка намотки	2	3,4	- 3	6,8	1	0,3	0,6	1,3	2,04	2,72				
	Всього по корпусу №21	60	1,5	- 32	856,8	21	0,24	0,68	1,1	207,04	224,84	54	1,3	262,9	345,93
4	Корпус №1														
	Гальванолінія	2	105,0	- 105	210	1	0,4	0,6	1,3	84,00	112,00				
	Хімічна сушка	4	15,0	- 15	60	1	0,7	0,9	0,5	42,00	20,34				
	Лінія обезжирювання	2	85,0	- 85	170	1	0,7	0,8	0,8	119,00	89,25				
	Кран	4	3,0	- 3	12	1	0,3	0,8	0,8	3,60	2,70				
	Насос	4	11,0	- 11	44	1	0,7	0,9	0,5	30,80	14,92				
	Витяжна вентиляція	6	5,0	- 5	30	1	0,7	0,8	0,8	21,00	15,75				
	Автомат фосфатування	4	59,0	- 59	236	1	0,7	0,9	0,5	165,20	80,01				
	Насос електроліту	5	11,0	- 11	55	1	0,7	0,9	0,5	38,50	18,65				
	Автомат міднення	2	35,0	- 35	70	1	0,7	0,85	0,6	49,00	30,37				
	Всього по корпусу №1	33	3,0	- 105	887	35	0,62	0,82	0,7	553,10	383,98	17	1,2	658,8	762,57

												Продовження табл. 2.2.				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
5	Корпус №2															
	Станок токарно-винторізній	4	12,5 - 12,5	50	1	0,1	0,4	2,3	5,00	11,46						
	Установка сушільна	4	23,0 - 23	92	1	0,7	0,95	0,3	64,40	21,17						
	Установка проявлення	1	42,0 - 42	42	1	0,7	0,78	0,8	29,40	23,59						
	Установка нанесення	1	15,0 - 15	15	1	0,7	0,78	0,8	10,50	8,42						
	Установка зняття	1	27,0 - 27	27	1	0,7	0,78	0,8	18,90	15,16						
	Установка мікротравлення	2	47,0 - 47	94	1	0,7	0,78	0,8	65,80	52,79						
	Установка очистки	4	12,0 - 12	48	1	0,5	0,78	0,8	24,00	19,25						
	Установка проявлення трафаретів	4	24,0 - 24	96	1	0,5	0,78	0,8	48,00	38,51						
	Система кондиціювання	2	45,0 - 45	90	1	0,7	0,8	0,8	63,00	47,25						
	Установка пайки	2	20,0 - 20	40	1	0,4	0,35	2,7	16,00	42,82						
	Випробувальний стенд	1	4,0 - 4	4	1	0,3	0,65	1,2	1,20	1,40						
	Тупікові сушильні камери	4	16,0 - 32	96	2	0,7	0,95	0,3	67,20	22,09						
	Фарбомішалка	2	4,0 - 4	8	1	0,6	0,8	0,8	4,80	3,60						
	Всього по корпусу №2	32	4,0 - 47	702	12	0,60	0,81	0,7	418,20	307,52	30	1,2	481,1	307,52	570,98	
6	ДК Радій															
	Вентилятори	10	0,5 - 22	100	44	0,6	0,8	0,8	60,00	45,00						
	Обладнання системи	20	0,2 - 4,5	30	23	0,3	0,5	1,7	9,00	15,59						
	Звукотехніка	20	0,2 - 4	45	20	0,3	0,5	1,7	13,50	23,38						
	Всього по корпусу	50	0,2 - 22	175	110	0,47	0,70	1	82,50	83,97	16	1,3	107,4	83,97	136,30	
7	Котельня															
	Вентилятори	6	16,0 - 16	96	1	0,6	0,8	0,8	57,60	43,20						
	Шафи автоматики	2	1,2 - 1,2	2,4	1	0,9	0,9	0,5	2,16	1,05						
	Насос	16	5,0 - 40	400	8	0,6	0,8	0,8	240,00	180,00						
	Всього по котельні	24	1,2 - 40	498,4	33	0,60	0,80	0,7	299,76	224,25	24	1,2	350,1	224,25	415,75	
8	Мазутосховище															
	Насоси	5	5,0 - 5	25	1	0,7	0,8	0,8	17,50	13,13						
	Всього по мазутосховищу	5	5,0 - 5	25	1	0,70	0,80	0,8	17,50	13,13	5	1,3	22,8	14,44	27,02	
9	Реагентне господарство															
	Насоси	7	2,8 - 30	77	11	0,7	0,8	0,8	53,90	40,43						
	Вентилятори	4	4,0 - 16	40	4	0,6	0,8	0,8	24,00	18,00						
	Всього по реагентному господарству	11	2,8 - 30	117	11	0,67	0,80	0,8	77,90	58,43	8	1,3	98,1	64,27	117,28	
10	Компресорна															
	Компресорна установка	6	50,0 - 200	900	4	0,8	0,75	0,9	720,00	634,98						
	Вентилятори	6	5,0 - 10	50,0	2	0,8	0,75	0,9	40,00	35,28						
	Всього по компресорній	12	5,0 - 200	950	40	0,8	0,75	0,9	760,00	670,26	10	1,1	823,6	737,28	1105,36	

												Продовження табл. 2.2.				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
11	Корпус №22															
	Металоружучі верстати	44	4,5 - 7	228	2	0,1	0,4	2,3	22,80	52,24						
	Кран балка	2	3,0 - 3	6	1	0,1	0,5	1,7	0,60	1,04						
	Вентилятори	18	2,2 - 30	150	14	0,6	0,8	0,8	90,00	67,50						
	Прес	10	3,0 - 7,5	60	3	0,3	0,4	2,3	18,00	41,24						
	Всього по корпусу №22	74	2,2 - 30	444	14	0,30	0,63	1,2	131,40	162,02	30	1,3	173,9	162,02	237,69	
12	Корпус №23															
	Металоружучі верстати	40	3,5 - 7	10,5	2	0,1	0,4	2,3	1,05	2,41						
	Кран балка	2	3,0 - 3	6	1	0,1	0,5	1,7	0,60	1,04						
	Вентилятори	12	2,2 - 30	120	14	0,6	0,8	0,8	72,00	54,00						
	Прес	8	3,0 - 15,0	70	5	0,3	0,4	2,3	21,00	48,12						
	Всього по корпусу №23	62	2,2 - 30	206,5	14	0,46	0,67	1,1	94,65	105,56	14	1,3	126,5	105,56	164,77	
13	Гараж №1															
	Тельфер	1	10,0 - 10	10	1	0,1	0,5	1,7	1,00	1,73						
	Сварочний апарат	1	10,0 - 10	10	1	0,4	0,6	1,3	4,00	5,33						
	Вентилятори	4	1,5 - 2,2	7,4	1	0,6	0,8	0,8	4,44	3,33						
	Металоріжучі верстати	5	3,5 - 10	17,0	3	0,1	0,4	2,3	1,70	3,90						
	Всього по гаражу №1	11	1,5 - 10	44,4	7	0,25	0,61	1,3	11,14	14,29	9	1,7	19,4	15,72	24,98	
14	Електроцех															
	Металоріжучі станки	5	1,5 - 10	30	7	0,1	0,5	1,7	3,00	5,20						
	Зварювальний апарат	2	10,0 - 10	20	1	0,4	0,6	1,3	8,00	10,67						
	Прес	2	4,5 - 4,5	9	1	0,2	0,65	1,2	1,80	2,10						
	Гільйотини	8	1,5 - 2	7	1	0,2	0,5	1,7	1,40	2,42						
	Всього по електроцеху	17	1,5 - 10	66	7	0,22	0,57	1,4	14,20	20,39	13	1,7	23,6	20,39	31,19	
15	Покрасочні бокси															
	Установка пожежегасіння	1	0,5 - 0,5	0,5	1	0,1	0,65	1,2	0,05	0,06						
	Тупикові сушільні камери	2	120,0 - 120	240	1	0,7	0,95	0,3	168,00	55,22						
	Фарбомішалка	1	4,0 - 4	4	1	0,6	0,8	0,8	2,40	1,80						
	Фарбувальна машина	1	120,0 - 120	120	1	0,7	0,95	0,3	84,00	27,61						
	Сушільні камери	2	160,0 - 160	320	1	0,7	0,95	0,3	224,00	73,63						
	Приводні двигуни	3	17,0 - 17	51	1	0,7	0,7	1	35,70	36,42						
	Фарборозбризкувач	2	2,2 - 2	4,4	1	0,7	0,8	0,8	3,08	2,31						
	Вентилятори	2	4,5 - 5	9	1	0,7	0,8	0,8	6,30	4,73						
	Всього по відділу	14	0,5 - 160	748,9	320	0,70	0,93	0,4	523,53	201,77	9	1,2	633,2	221,95	670,96	

												Продовження табл. 2.2.				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
16	Склад кольорових металів															
	Підйомно трансп обладнання	3	2,2	- 10	30	5	0,1	0,5	1,7	3,00	5,20					
	Вентилятори	2	5,0	- 5	10,0	1	0,6	0,8	0,8	6,00	4,50					
	Всього по складу	5	2,2	- 10	40	5	0,2	0,68	1,1	9,00	9,70	5	2,2	19,6	22,29	
17	Гараж №2															
	Зварювальний апарат	2	10,0	- 10	20	1	0,4	0,6	1,3	8,00	10,67					
	Кран	1	5,0	- 5	5	1	0,3	0,5	1,7	1,50	2,60					
	Токарний верстат	2	10,0	- 10,0	20,0	1	0,1	0,4	2,3	2,00	4,58					
	Вентилятор	5	0,5	- 10	35,0	20	0,6	0,8	0,8	21,00	15,75					
	Всього по гаражу №2	10	0,5	- 10	80	20	0,41	0,70	1	32,50	33,60	10	1,5	47,7	60,34	
18	Склад відходів															
	Вентилятори	8	0,5	- 10	50	20	0,6	0,8	0,8	30,00	22,50					
	Кран	2	5,0	- 5	10,0	1	0,3	0,5	1,7	3,00	5,20					
	Всього по складу відходів	10	0,5	- 10	60	20	0,6	0,77	0,8	33,00	27,70	10	1,3	43,8	53,32	
19	Склад кабельної продукції															
	Вентилятори	6	0,5	- 10	50	20	0,6	0,8	0,8	30,00	22,50					
	Кран	4	5,0	- 5	20,0	1	0,3	0,5	1,7	6,00	10,39					
	Всього по складу	10	0,5	- 10	70	20	0,5	0,74	0,9	36,00	32,89	10	1,4	48,9	60,83	
20	Склад															
	Вентилятори	8	1,2	- 10	50	8	0,6	0,8	0,8	30,00	22,50					
	Кран	1	3,0	- 3	3,0	1	0,3	0,5	1,7	0,90	1,56					
	Всього по складу	9	1,2	- 10	53	8	0,6	0,79	0,8	30,90	24,06	9	1,3	40,7	48,55	
21	Насосна															
	Вентилятори	6	2,2	- 10	40	5	0,7	0,8	0,8	28,00	21,00					
	Насоси	10	2,8	- 75	400,0	27	0,7	0,8	0,8	280,00	210,00					
	Всього по насосній	16	2,2	- 75	440	34	0,7	0,80	0,8	308,00	231,00	12	1,2	361,9	429,35	

												Продовження табл. 2.2.				
1	2	3	4		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
22	Їдальня															
	Жарочна шафа	4	3,0	- 10	25	3	0,3	0,75	0,9	7,50	6,61					
	Електрична плита	8	2,0	- 6	30	3	0,3	1	0	9,00	0,00					
	Вентилятор	4	5,0	- 5	20	1	0,6	0,85	0,6	12,00	7,44					
	Тістомішалка	3	3,0	- 3	9	1	0,2	0,6	1,3	1,80	2,40					
	Електрична м'ясорубка	2	3,0	- 3	6	1	0,2	0,6	1,3	1,20	1,60					
	Холодильник	4	6,0	- 6	24	1	0,4	0,7	1	9,60	9,79					
	Посудомийна машина	1	4,0	- 4	4	1	0,2	0,7	1	0,80	0,82					
	Бойлер	2	4,0	- 4	8,0	1	0,3	1	0	2,40	0,00					
	Всього по їдальні	28	2,0	- 10	126	5	0,4	0,84	0,6	44,30	28,66	25	1,3	58,1	28,66	64,79
	Всього на шинах 0,4 кВ	571	0,2	- 200	7021	1000	0,56	0,79	0,77	3922,72	3002,341	70	1,1	4330,1	3002,34	5269,14

№	Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів	Кількість ел. спо- живачів	Встановлена по- тужність, кВт		m	Kв	cos	tg	Середнє наванта- ження за зміну		ne	Km	Розрахункова потужність		
			Одного	Сумарн					Pср, кВт	Qср, квар			Pr, кВт	Qr, квар	Sp, кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	ТП№1														
1	<u>Корпус №4</u>														
	силова	41	0,50 - 30,0	262,0	60	0,58	0,86	0,60	151,20	90,67	17	1,22	184,51	90,67	205,58
	освітлювальна												129,6	62,2	143,8
3	<u>Корпус №21</u>														
	силова	60	1,5 - 32,0	856,8	21	0,24	0,68	1,09	207,04	224,84	54	1,27	262,91	224,84	345,93
	освітлювальна												162,7	281,5	325,2
13	<u>Гараж №1</u>														
	силова	11	1,5 - 10,0	44,4	7	0,25	0,61	1,28	11,14	14,29	9	1,74	19,42	15,72	24,98
	освітлювальна												1,20	2,08	2,40
16	<u>Склад кольорових металів</u>														
	силова	5	2,2 - 10,0	40,0	5	0,23	0,68	1,08	9,00	9,70	5	2,17	19,57	10,67	22,29
	освітлювальна												7,49	3,59	8,31
14	<u>Електроцех</u>														
	силова	17	1,5 - 10,0	66,0	7	0,22	0,57	1,44	14,20	20,39	13	1,66	23,60	20,39	31,19
	освітлювальна												8,64	14,95	17,26
22	<u>Їдальня</u>														
	силова	28	2,0 - 10,0	126	5	0,35	0,84	0,65	44,30	28,66	25	1,31	58,11	28,66	64,79
	освітлювальна												15,39	7,39	17,07
	Всього по ТП№1														
	силова	162	0,5 - 32,0	1395,2	64	0,3	0,7	0,9	436,9	388,5	87	1,2	511,2	388,5	642,1
	освітлювальна												325,0	371,7	
	Всього												836,3	760,3	1130,2
	БСК													-500,0	
	З урахуванням БСК												836,3	260,3	875,8
	Втрати в трансформаторі S _{ТР} = 630	2											10,0	58,7	
	Всього на шинах 10 кВ ТП№1												846,2	318,9	904,3

17

												Продовження табл. 2.3.					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
	ТП№5																
	<u>Котельня</u>																

2.4. Вибір кількості та потужності трансформаторних підстанцій

При проектуванні цехові трансформатори вибираємо без техніко-економічних розрахунків, користуючись коефіцієнтом завантаження трансформаторів та розрахунковим навантаженням цехів. На двохтарнсформаторних цехових підстанціях при переважанні навантажень I категорії K_3 приймається в межах 0,65-0,7, при перевазі наванатажень II категорії 0,7-0,8, а при більшості споживачів III категорії 0,9-0,95 [6].

Розташування цехових ТП повинне передбачатись всередині цехів або прибудованими до них (при недопустимості розміщення ТП всередині цеху). Застосування окремо розташованих ТП повинно обґрунтовуватись.

Обираємо до установки трансформатори потужністю 630 кВА. Тоді мінімальна кількість трансформаторів:

$$N_{\text{тр}} = \frac{P_p + P_{\text{осв}}}{K_3 S_{\text{тр}}} = \frac{4172,8 + 1223,7}{0,7 \cdot 630} = 13$$

Розподіл трансформаторних підстанцій поміж споживачами наводиться в табл. 2.4.

Таблиця 2.4. Вибір кількості та потужності трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій, їхнього місця розташування.

№ ТП	N, шт	$S_{\text{роз}}, \text{кВ} \cdot \text{А}$	Місце розташування	Марка	K_3	Тип КТП
1	2	875,8	Корпус №21	ТМ-630	0,695	Вбудована
2	2	882,8	Корпус №1	ТМ-630	0,701	Вбудована
3	2	879,1	Корпус №2	ТМ-630	0,698	Вбудована
4	2	879,1	Компресорна	ТМ-630	0,698	Вбудована
5	2	882,4	Котельня	ТМ-630	0,700	Вбудована
6	2	877,5	Покрасочні бокси	ТМ-630	0,696	Вбудована
7	1	438,8	Насосна	ТМ-630	0,696	Вбудована

3. Розрахунок теплових навантажень

3.1. Розрахунок теплових навантажень на опалення

Теплове навантаження на опалення будемо проводити за методикою з [2-4].

В якості прикладу виконаємо розрахунок теплових навантажень на опалення Корпусу №4. Дані для розрахунку: $t_{в.р.} = 16 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $q_o = 0,45 \text{ Вт/(м}^3\cdot^{\circ}\text{C)}$; $V_3 = 90000 \text{ м}^3$.

Теплове навантаження на опалення:

$$Q_o^p = (1 + \mu) q_o V_3 (t_{в.р.} - t_{п.о.}) = (1 + 0,25) \cdot 0,45 \cdot 90000 \cdot (16 - (-21)) = 1873,13 \text{ кВт.}$$

Розрахунок теплового навантаження на опалення інших цехів здійснюється аналогічно. Результати розрахунку приведено в табл. 3.1.1.

Таблиця 3.1.1. Результати розрахунку теплових навантажень на опалення

№ п/п	Найменування підрозділу	F, м ²	h, м	V, м ³	q _o , Вт/м ³ ·°C	t _{в.р.} , °C	Q _o ^p , кВт
1	Корпус №4	9000	10	90000	0,45	16	1873,1
2	Корпус №3	2400	10	24000	0,5	16	555,0
3	Корпус №21	11300	10	113000	0,43	16	2247,3
4	Корпус №1	14670	10	146700	0,42	16	2849,6
5	Корпус №2	16240	10	162400	0,43	16	3229,7
6	ДК Радій	1750	6	10500	0,35	16	170,0
7	Котельня	3000	6	18000	0,1	14	78,8
8	Мазутосховище	272	4	1088	0,69	16	34,7
9	Реагентне господарство	220	4	880	0,7	16	28,5
10	Компресорна	546	6	3276	0,64	16	97,0
11	Корпус №22	9720	10	97200	0,44	16	1978,0
12	Корпус №23	11970	10	119700	0,44	16	2435,9
13	Гараж №1	200	4	800	0,6	16	22,2
14	Електроцех	800	6	4800	0,64	16	142,1
15	Покрасочні бокси	300	6	1800	0,7	16	58,3
16	Склад кольорових металів	1560	6	9360	0,54	16	233,8
17	Гараж №2	200	4	800	0,6	16	22,2
18	Склад відходів	210	6	1260	0,5	16	29,1
19	Склад кабельної продукції	400	6	2400	0,66	16	73,3
20	Склад	1500	6	9000	0,54	16	224,8
21	Насосна	144	4	576	0,74	16	19,7
22	Їдальня	950	6	5700	0,38	18	105,6
Всього по підприємству							16508,60

3.2. Розрахунок теплових навантажень на вентиляцію

Розрахунок теплового навантаження вентиляції проводимо за методикою викладеною в [2-4]. В якості прикладу виконаємо розрахунок теплових навантажень на вентиляцію для Корпусу №4.

Дані для розрахунку: $t_{в.р.} = 16 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $q_v = 0,15 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$; $V_z = 90000 \text{ м}^3$.

Теплове навантаження на опалення, кВт:

$$Q_z^p = q_v V_z (t_{в.р.} - t_{п.в.}) = 0,15 \cdot 90000 \cdot (16 - (-9)) = 337,50 \text{ кВт.}$$

Розрахунок теплового навантаження на вентиляцію інших цехів здійснюється аналогічно. Результати розрахунку приведено в табл. 3.2.1.

Таблиця 3.2.1. Результати розрахунку теплового навантаження на вентиляцію

№ п/п	Найменування підрозділу	F, м ²	h, м	V, м ³	q _v , Вт/м ³ ·°C	t _{в.р.} , °C	Q _в ^p , кВт
1	Корпус №4	9000	10	90000	0,15	16	337,50
2	Корпус №3	2400	10	24000	0,24	16	144,00
3	Корпус №21	11300	10	113000	0,13	16	367,25
4	Корпус №1	14670	10	146700	0,12	16	440,10
5	Корпус №2	16240	10	162400	0,11	16	446,60
6	ДК Радій	1750	6	10500	0,29	16	76,13
7	Котельня	3000	6	18000	0,15	14	62,10
8	Мазутосховище	272	4	1088	0,66	16	17,95
9	Реагентне господарство	220	4	880	0,67	16	14,74
10	Компресорна	546	6	3276	0,6	16	49,14
11	Корпус №22	9720	10	97200	0,3	16	729,00
12	Корпус №23	11970	10	119700	0,09	16	269,33
13	Гараж №1	200	4	800	0,67	16	13,40
14	Електроцех	800	6	4800	0,58	16	69,60
15	Покрасочні бокси	300	6	1800	0,65	16	29,25
16	Склад кольорових металів	1560	6	9360	0,52	16	121,68
17	Гараж №2	200	4	800	0,67	16	13,40
18	Склад відходів	210	6	1260	0,66	16	20,79
19	Склад кабельної продукції	400	6	2400	0,5	16	30,00
20	Склад	1500	6	9000	0,53	16	119,25
21	Насосна	144	4	576	0,7	16	10,08
22	Їдальня	950	6	5700	0,69	18	106,19
Всього по підприємству							3487,47

3.3. Розрахунок теплових навантажень на гаряче водопостачання

Розрахунок теплового навантаження на гаряче водопостачання проводимо за методикою з [2-4]. В якості прикладу виконаємо розрахунок теплових

навантажень на гаряче водопостачання для Корпусу №4. Кількість працюючих людей в цеху складає 100. Підприємство працює в одну зміну.

Середньогодинне навантаження на гаряче водопостачання в зимовий період:

$$Q_{г.з.}^{сер.т.} = \frac{амс_в(t_г - t_х)}{n_c} = \frac{25 \cdot 100 \cdot 4190(55 - 5)}{8 \cdot 3600} = 18,19 \text{ кВт}$$

Середня витрата теплоти на гаряче водопостачання в літній період:

$$Q_{г.л.}^{сер.т.} = Q_{г.з.}^{сер.т.} \frac{t_г - t_{х.л.}}{t_г - t_{х.з.}} \beta = 18,19 \frac{55 - 15}{55 - 5} \cdot 1 = 14,55 \text{ кВт}$$

Розрахункове максимальне теплове навантаження гарячого водопостачання в зимовий період:

$$Q_{г.з.}^{max} = \chi Q_{г.з.}^{сер.т.} = 1 \cdot 18,19 = 18,19 \text{ кВт.}$$

Розрахункове максимальне теплове навантаження гарячого водопостачання в літній період, кВт:

$$Q_{г.л.}^{max} = \chi Q_{г.л.}^{сер.т.} = 1 \cdot 14,55 = 14,55 \text{ кВт.}$$

Результати розрахунку теплових навантажень на гаряче водопостачання для інших підрозділів підприємства зведені до табл. 3.3.1.

Таблиця 3.3.1. Результати розрахунку теплових навантажень на гаряче водопостачання.

№ п/п	Найменування підрозділу	м, люд.	$Q_{г.з.}^{сер.т.}$, кВт	$Q_{г.л.}^{сер.т.}$, кВт	$Q_{г.з.}^{max.}$, кВт	$Q_{г.л.}^{max.}$, кВт
1	2	3	4	5	6	7
1	Корпус №4	100	18,19	14,55	18,19	14,55
2	Корпус №3	20	3,64	2,91	3,64	2,91
3	Корпус №21	150	27,28	21,82	27,28	21,82
4	Корпус №1	200	36,37	29,10	36,37	29,10
5	Корпус №2	60	10,91	8,73	10,91	8,73
6	ДК Радій	20	3,64	2,91	3,64	2,91
7	Котельня	10	1,82	1,45	1,82	1,45
8	Мазутосховище	5	0,91	0,73	0,91	0,73
9	Реагентне господарство	5	0,91	0,73	0,91	0,73
10	Компресорна	7	1,27	1,02	1,27	1,02
11	Корпус №22	120	21,82	17,46	21,82	17,46
12	Корпус №23	100	18,19	14,55	18,19	14,55
13	Гараж №1	6	1,09	0,87	1,09	0,87
14	Електроцех	10	1,82	1,45	1,82	1,45

Продовження табл. 3.3.1.

1	2	3	4	5	6	7
15	Покрасочні бокси	4	0,73	0,58	0,73	0,58
16	Склад кольорових металів	3	0,55	0,44	0,55	0,44
17	Гараж №2	6	1,09	0,87	1,09	0,87
18	Склад відходів	3	0,55	0,44	0,55	0,44
19	Склад кабельної продукції	2	0,36	0,29	0,36	0,29
20	Склад	20	3,64	2,91	3,64	2,91
21	Насосна	20	3,64	2,91	3,64	2,91
22	Їдальня	12	2,18	1,75	2,18	1,75
Всього по підприємству		883	160,58	128,46	160,58	128,46

Розрахунок загального максимального теплового навантаження підприємства наведено в табл. 3.3.2.

Таблиця 3.3.2. Загальне теплове навантаження підприємства.

№ п\п	Найменування підрозділу	Q_o^p , кВт	Q_b^p , кВт	$Q_{г.з.}^{max.}$, кВт	Q_{Σ} , кВт
1	Корпус №4	1873,13	337,50	18,19	2228,81
2	Корпус №3	555,00	144,00	3,64	702,64
3	Корпус №21	2247,29	367,25	27,28	2641,82
4	Корпус №1	2849,65	440,10	36,37	3326,12
5	Корпус №2	3229,73	446,60	10,91	3687,24
6	ДК Радій	169,97	76,13	3,64	249,73
7	Котельня	78,75	62,10	1,82	142,67
8	Мазутосховище	34,72	17,95	0,91	53,58
9	Реагентне господарство	28,49	14,74	0,91	44,14
10	Компресорна	96,97	49,14	1,27	147,38
11	Корпус №22	1978,02	729,00	21,82	2728,84
12	Корпус №23	2435,90	269,33	18,19	2723,41
13	Гараж №1	22,20	13,40	1,09	36,69
14	Електроцех	142,08	69,60	1,82	213,50
15	Покрасочні бокси	58,28	29,25	0,73	88,25
16	Склад кольорових металів	233,77	121,68	0,55	355,99
17	Гараж №2	22,20	13,40	1,09	36,69
18	Склад відходів	29,14	20,79	0,55	50,47
19	Склад кабельної продукції	73,26	30,00	0,36	103,62
20	Склад	224,78	119,25	3,64	347,66
21	Насосна	19,71	10,08	3,64	33,43
22	Їдальня	105,59	106,19	2,18	213,97
Всього по підприємству		16508,60	3487,47	160,58	20156,66

4. Гідравлічний розрахунок теплової мережі та розрахунок теплової ізоляції

4.1. Гідравлічний розрахунок теплової мережі

Гідравлічний розрахунок трубопровідних теплових мереж підприємства проведемо за методикою з [4]. В якості прикладу проведемо розрахунок витрат води для корпусу №4.

Витрата води на опалення, кг/с:

$$G_o^{\max} = \frac{Q_o^{\max}}{c(\tau_1 - \tau_2)} = \frac{1873,13}{4,19(95 - 70)} = 8,128.$$

Витрата води на вентиляцію, кг/с:

$$G_v^{\max} = \frac{Q_v^{\max}}{c(\tau_1 - \tau_2)} = \frac{337,5}{4,19(95 - 70)} = 1,465.$$

Витрати води на гаряче водопостачання, кг/с:

$$G_{г.в}^{\max} = \frac{Q_{г.в}^{\max}}{c(\tau_1 - \tau_2)} = \frac{18,19}{4,19(65 - 15)} = 0,145.$$

Сумарна витрата води, кг/с:

$$G_{\Sigma} = G_o^{\max} + G_v^{\max} + G_{г.в}^{\max} = 8,128 + 1,465 + 0,145 = 9,74.$$

Результати розрахунку витрати води для інших будівель наведено в табл. 4.1.

Результати гідравлічного розрахунку теплової мережі наведено в табл. 4.2.

4.2. Розрахунок теплової ізоляції

Розрахунок втрат тепла в трубопровідних мережах проведемо за методикою суть якої наведена в [4]. Застосуємо безканальну прокладку теплових мереж, як таку що є більш дешевою. Глибина закладання труб – 80 см, відстань між їх осями – 40 см. Для розрахунку приймемо ґрунт – середньої вологості. Розрахунок виконано в табличній формі і наведений в табл. 4.3.

Також при розрахунках прийнято: $\lambda_{із} = 0,033$ Вт/(м·°С); $\lambda_{не} = 0,43$ Вт/(м·°С); температура ґрунту $t_r = 2$ °С.

						Арк.
						25

Таблиця 4.1. Розрахунок витрат теплоносія

№ п/п	Найменування підрозділу	Q_o^p , кВт	Q_B^p , кВт	$Q_{г.з.}^{max}$, кВт	Q_{Σ} , кВт	$G_{o max}$, кг/с	$G_{v max}$, кг/с	$G_{h max}$, кг/с	G_d , кг/с
1	Корпус №4	1873,13	337,50	18,19	2228,81	8,128	1,465	0,145	9,74
2	Корпус №3	555,00	144,00	3,64	702,64	2,408	0,625	0,029	3,06
3	Корпус №21	2247,29	367,25	27,28	2641,82	9,752	1,594	0,217	11,56
4	Корпус №1	2849,65	440,10	36,37	3326,12	12,366	1,910	0,289	14,56
5	Корпус №2	3229,73	446,60	10,91	3687,24	14,015	1,938	0,087	16,04
6	ДК Радій	169,97	76,13	3,64	249,73	0,738	0,330	0,029	1,10
7	Котельня	78,75	62,10	1,82	142,67	0,342	0,269	0,014	0,63
8	Мазутосховище	34,72	17,95	0,91	53,58	0,151	0,078	0,007	0,24
9	Реагентне господарство	28,49	14,74	0,91	44,14	0,124	0,064	0,007	0,19
10	Компресорна	96,97	49,14	1,27	147,38	0,421	0,213	0,010	0,64
11	Корпус №22	1978,02	729,00	21,82	2728,84	8,583	3,163	0,174	11,92
12	Корпус №23	2435,90	269,33	18,19	2723,41	10,570	1,169	0,145	11,88
13	Гараж №1	22,20	13,40	1,09	36,69	0,096	0,058	0,009	0,16
14	Електроцех	142,08	69,60	1,82	213,50	0,617	0,302	0,014	0,93
15	Покрасочні бокси	58,28	29,25	0,73	88,25	0,253	0,127	0,006	0,39
16	Склад кольорових металів	233,77	121,68	0,55	355,99	1,014	0,528	0,004	1,55
17	Гараж №2	22,20	13,40	1,09	36,69	0,096	0,058	0,009	0,16
18	Склад відходів	29,14	20,79	0,55	50,47	0,126	0,090	0,004	0,22
19	Склад кабельної продукції	73,26	30,00	0,36	103,62	0,318	0,130	0,003	0,45
20	Склад	224,78	119,25	3,64	347,66	0,975	0,517	0,029	1,52
21	Насосна	19,71	10,08	3,64	33,43	0,086	0,044	0,029	0,16
22	Їдальня	105,59	106,19	2,18	213,97	0,458	0,461	0,017	0,94
Всього по підприємству		16508,60	3487,47	160,58	20156,66	71,64	15,13	1,28	88,05

Таблиця 4.2. Гідравлічний розрахунок теплової мережі

ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

Форма № 33 - РГ

№ ділянки за розрах.		Характеристика ділянки			Витратні данні ділянки										Втрати напору від джерела теплопостачання	Напір в кінці ділянки
№ розрахункова	№ попередньої	діаметр	довжина	Сума коеф. місцевих опорів	Витрата води	Швидкість води	Питомі втрати напору при K=0,5	Прийнята еквівалент. шерохват.	поправоч. коеф. до питомих втрат	Дійсне значення питомих втрат	Втрати напору на ділянці					
											лінійні	місцеві	всього	Всього по двом трубопроводам		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Мережеві насоси																
Водонагрівальна установка																45,0
Теплова мережа																
3	1	60	50		0,80		0,19	3	1,63	0,309	0,015	0,0046	0,020	0,040	0,04	44,96
3	2	60	10		0,59		0,10	3	1,63	0,169	0,002	0,0005	0,002	0,004	0,00	45,00
6	4	60	50		1,39		0,58	3	1,63	0,942	0,047	0,0141	0,061	0,122	0,12	44,88
6	5	60	10		0,57		0,10	3	1,63	0,159	0,002	0,0005	0,002	0,004	0,00	45,00
7	3	60	25		1,38		0,57	3	1,63	0,935	0,023	0,0070	0,030	0,061	0,07	44,93
7	6	60	10		1,96		1,15	3	1,63	1,873	0,019	0,0056	0,024	0,049	0,05	44,95
9	7	60	110		3,34		3,35	3	1,63	5,454	0,600	0,1800	0,780	1,560	1,61	43,39
9	8	115	10		42,91		17,43	3	1,63	28,410	0,284	0,0852	0,369	0,739	0,74	44,26
12	10	60	30		1,62		0,79	3	1,63	1,288	0,039	0,0116	0,050	0,100	0,10	44,90
12	11	60	10		5,48		9,00	3	1,63	14,668	0,147	0,0440	0,191	0,381	0,38	44,62
14	12	60	70		7,10		15,12	3	1,63	24,649	1,725	0,5176	2,243	4,486	4,87	40,13
14	13	60	10		3,36		3,38	3	1,63	5,514	0,055	0,0165	0,072	0,143	0,14	44,86
16	14	60	30		10,46		32,81	3	1,63	53,478	1,604	0,4813	2,086	4,171	4,31	40,69
16	15	60	10		5,57		9,30	3	1,63	15,153	0,152	0,0455	0,197	0,394	0,39	44,61
18	16	60	25		16,03		77,03	3	1,63	125,564	3,139	0,9417	4,081	8,162	8,56	36,44
18	17	60	10		0,59		0,10	3	1,63	0,169	0,002	0,0005	0,002	0,004	0,00	45,00
20	18	60	40		16,62		82,78	3	1,63	134,935	5,397	1,6192	7,017	14,033	14,04	30,96

Продовження табл. 4.2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
20	19	115	15		41,62		16,40	3	1,63	26,730	0,401	0,1203	0,521	1,042	1,04	43,96
23	21	60	30		11,02		36,43	3	1,63	59,389	1,782	0,5345	2,316	4,632	4,63	40,37
23	22	60	10		3,95		4,67	3	1,63	7,619	0,076	0,0229	0,099	0,198	0,20	44,80
25	23	60	45		14,97		67,21	3	1,63	109,553	4,930	1,4790	6,409	12,818	13,02	31,98
25	24	60	20		2,32		1,61	3	1,63	2,628	0,053	0,0158	0,068	0,137	0,14	44,86
27	9	115	40		46,25		20,25	3	1,63	33,005	1,320	0,3961	1,716	3,433	4,17	40,83
27	25	115	65		17,29		2,83	3	1,63	4,613	0,300	0,0899	0,390	0,780	0,92	44,08
27	26	115	10		57,74		31,56	3	1,63	51,438	0,514	0,1543	0,669	1,337	1,34	43,66
29	27	230	20		121,29		3,58	3	1,63	5,833	0,117	0,0350	0,152	0,303	1,64	43,36
29	28	60	10		0,70		0,15	3	1,63	0,240	0,002	0,0007	0,003	0,006	0,01	44,99
31	29	230	15		121,99		3,62	3	1,63	5,900	0,089	0,0266	0,115	0,230	0,24	44,76
31	30	60	20		0,85		0,22	3	1,63	0,352	0,007	0,0021	0,009	0,018	0,02	44,98
33	31	230	10		122,84		3,67	3	1,63	5,983	0,060	0,0179	0,078	0,156	0,17	44,83
33	32	115	45		42,78		17,32	3	1,63	28,235	1,271	0,3812	1,652	3,304	3,30	41,70
35	33	230	10		165,62		6,67	3	1,63	10,876	0,109	0,0326	0,141	0,283	3,59	41,41
35	34	115	10		52,43		26,02	3	1,63	42,413	0,424	0,1272	0,551	1,103	1,10	43,90
38	36	60	20		3,37		3,41	3	1,63	5,553	0,111	0,0333	0,144	0,289	0,29	44,71
38	37	115	10		35,05		11,63	3	1,63	18,957	0,190	0,0569	0,246	0,493	0,49	44,51
39	20	115	10		58,24		32,10	3	1,63	52,330	0,523	0,1570	0,680	1,361	2,40	42,60
39	38	115	110		38,43		13,97	3	1,63	22,779	2,506	0,7517	3,257	6,515	7,01	37,99
40	35	230	10		218,05		11,57	3	1,63	18,852	0,189	0,0566	0,245	0,490	1,59	43,41
40	39	230	15		96,67		2,27	3	1,63	3,705	0,056	0,0167	0,072	0,144	7,15	37,85
41	40	230	10		314,72		24,09	3	1,63	39,272	0,393	0,1178	0,511	1,021	8,17	36,83

Таблиця 4.3. Розрахунок втрат в тепловій ізоляції.

№ п/п	Стандартний діаметр труби, мм	Розрахункова товщина пенополіуретану, мм	Товщина захисної поліетиленової оболонки, мм	Опір ізоляції, (м·°C)/Вт	Опір захисного шару, (м·°C)/Вт	Глибина залягання трубопроводу, мм	Опір ґрунту, (м·°C)/Вт	Сумарний опір трубопроводу, (м·°C)/Вт	Відстань між осями труб, мм	Додатковий термічний опір, (м·°C)/Вт	Температура в подавальному трубопроводі, °C	Температура в зворотньому трубопроводі, °C	Температура ґрунту, °C	Питомі втрати теплоти в подавальному трубопроводі, Вт/м	Питомі втрати теплоти в зворотньому трубопроводі, Вт/м	Сумарна довжина трубопроводу, м	Втрата теплоти в подавальному трубопроводі, Вт	Втрата теплоти в зворотньому трубопроводі, Вт
1	57	31,5	3	3,59	0,018	800	0,303	3,911	400	0,133	95	40	2	23,48	8,92	655	15376,84	5842,54
2	114	39,8	4	2,55	0,015	800	0,258	2,828	400	0,133	95	40	2	32,33	11,92	325	10507,49	3874,81
3	219	43,1	6	1,6	0,014	800	0,215	1,830	400	0,133	95	40	2	49,56	17,17	90	4460,75	1545,22
Всього втрат																	30345,08	11262,56

5. Побудова графіків електричних навантажень підприємства.

Детальний опис використаної методики визначення та моделювання графіків електричних навантажень міститься у працях [1, 4-6]. Результати відповідних інженерних розрахунків, виконаних із застосуванням програмного комплексу Mathcad, наведено нижче.

1. Активне розрахункове навантаження:

$$P_{\max} := 5618.9 \quad \text{кВТ}$$

2. Реактивне розрахункове навантаження:

$$Q_{\max} := 5272.5 \quad \text{квар}$$

$$T_{\text{лето п}} := 105 \quad T_{\text{лето в}} := 48$$

$$T_{\text{зима р}} := 147 \quad T_{\text{зима в}} := 65$$

$$T_{\Gamma} = 365$$

3. Задання графіка навантаження (в %) для кожної ступені графіка (для активної потужності, 2 - для реактивної потужності):

Робочі дні

	1	2
1	18	67
2	22	70
3	18	67
4	24	70
5	18	67
6	18	67
7	30	67
8	40	77
9	78	92
10	93	95
11	100	100
12	100	100
13	88	92
14	70	85
15	63	80
16	38	75
17	25	67
18	30	70
19	28	67
20	25	67
21	18	65
22	20	65
23	18	67
24	18	...

Вихідні дні

	1	2
1	25	30
2	25	30
3	25	30
4	25	30
5	25	30
6	25	30
7	15	25
8	15	25
9	15	25
10	15	25
11	15	25
12	15	25
13	15	25
14	15	25
15	15	25
16	15	25
17	15	25
18	15	25
19	25	30
20	25	30
21	25	30
22	25	30
23	25	30
24	25	30

4. Обчисленнясходинок графіка навантаження:

- 1. літні робочі дні
- 2. зимні робочі дні
- 3. літні вихідні дні
- 4. зимні вихідні дні

Power_1 =

	1	2	3
1	860	3003	3123
2	1051	3137	3308
3	860	3003	3123
4	1146	3137	3340
5	860	3003	3123
6	860	3003	3123
7	1433	3003	3327
8	1910	3451	3944
9	3725	4123	5557
10	4442	4258	6153
11	4776	4482	6549
12	4776	4482	6549
13	4203	4123	5888
14	3343	3809	5068
15	3009	3585	4681
16	1815	3361	3820
17	1194	3003	3231
18	1433	3137	3449
19	1337	3003	3287
20	1194	3003	3231
21	860	2913	3037
22	955	2913	3066
23	860	3003	3123
24	860	2913	...

Power_2 =

	1	2	3
1	1011	3533	3675
2	1236	3691	3892
3	1011	3533	3675
4	1349	3691	3929
5	1011	3533	3675
6	1011	3533	3675
7	1686	3533	3914
8	2248	4060	4640
9	4383	4851	6537
10	5226	5009	7238
11	5619	5273	7705
12	5619	5273	7705
13	4945	4851	6927
14	3933	4482	5963
15	3540	4218	5507
16	2135	3954	4494
17	1405	3533	3802
18	1686	3691	4057
19	1573	3533	3867
20	1405	3533	3802
21	1011	3427	3573
22	1124	3427	3607
23	1011	3533	3675
24	1011	3427	...

Power_3 =

	1	2	3
1	1194	1344	1798
2	1194	1344	1798
3	1194	1344	1798
4	1194	1344	1798
5	1194	1344	1798
6	1194	1344	1798
7	716	1120	1330
8	716	1120	1330
9	716	1120	1330
10	716	1120	1330
11	716	1120	1330
12	716	1120	1330
13	716	1120	1330
14	716	1120	1330
15	716	1120	1330
16	716	1120	1330
17	716	1120	1330
18	716	1120	1330
19	1194	1344	1798
20	1194	1344	1798
21	1194	1344	1798
22	1194	1344	1798
23	1194	1344	1798
24	1194	1344	..

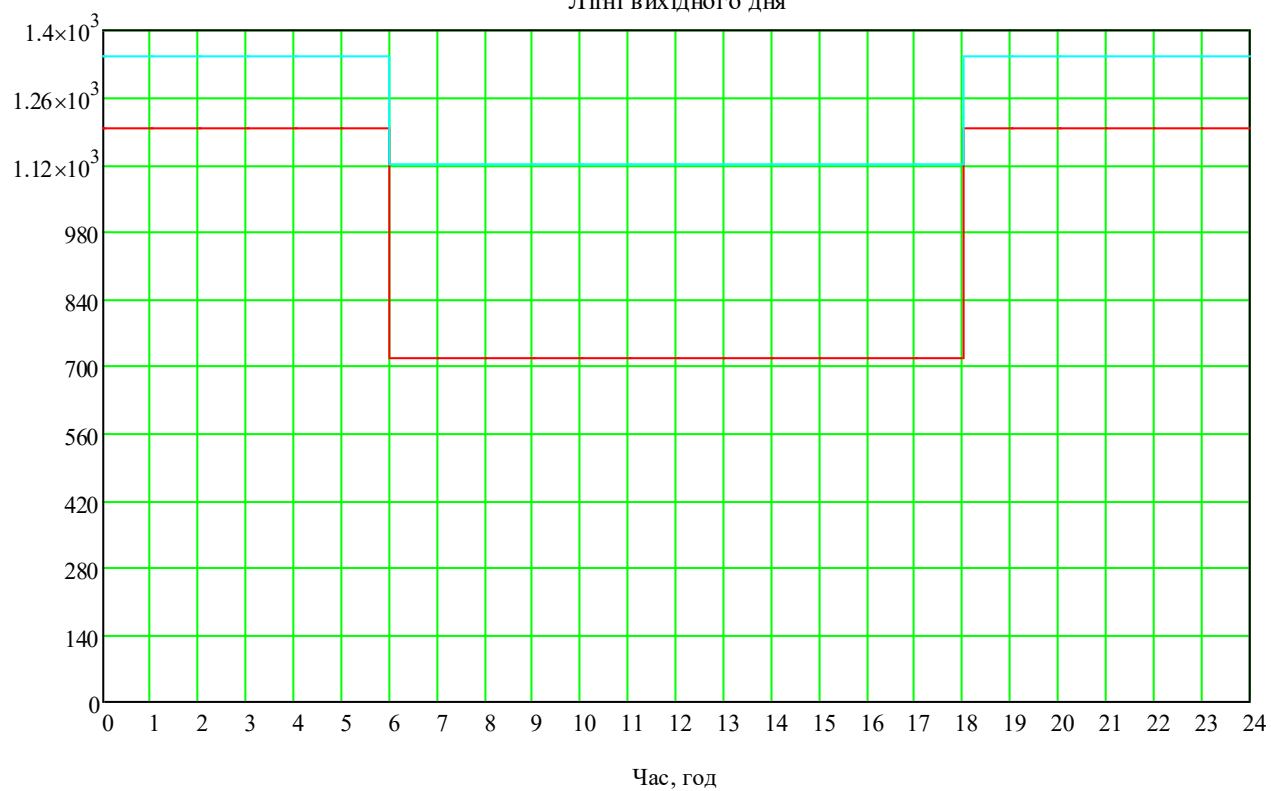
Power_4 =

	1	2	3
1	1405	1582	2115
2	1405	1582	2115
3	1405	1582	2115
4	1405	1582	2115
5	1405	1582	2115
6	1405	1582	2115
7	843	1318	1565
8	843	1318	1565
9	843	1318	1565
10	843	1318	1565
11	843	1318	1565
12	843	1318	1565
13	843	1318	1565
14	843	1318	1565
15	843	1318	1565
16	843	1318	1565
17	843	1318	1565
18	843	1318	1565
19	1405	1582	2115
20	1405	1582	2115
21	1405	1582	2115
22	1405	1582	2115
23	1405	1582	2115
24	1405	1582	...

- 1 - активнаа потужність
- 2 - реактивна потужність
- 3 - повна потужність

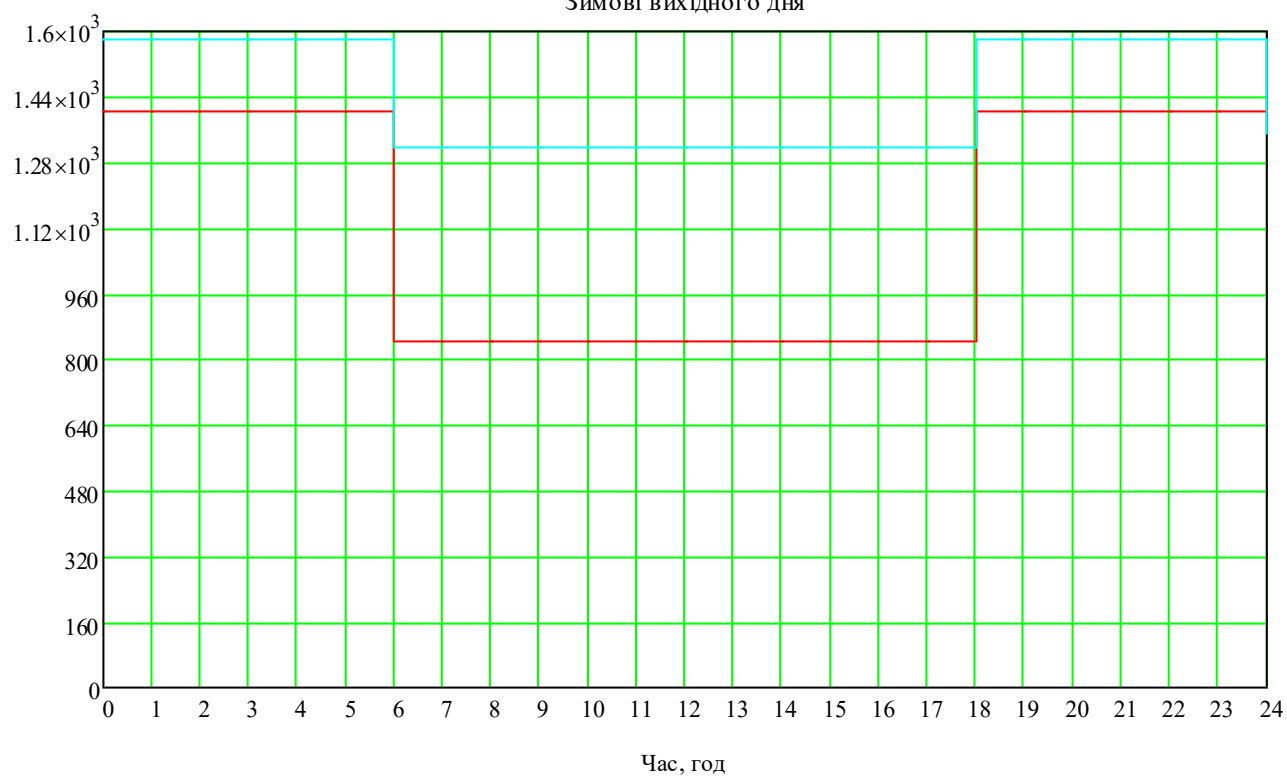


Літні вихідного дня



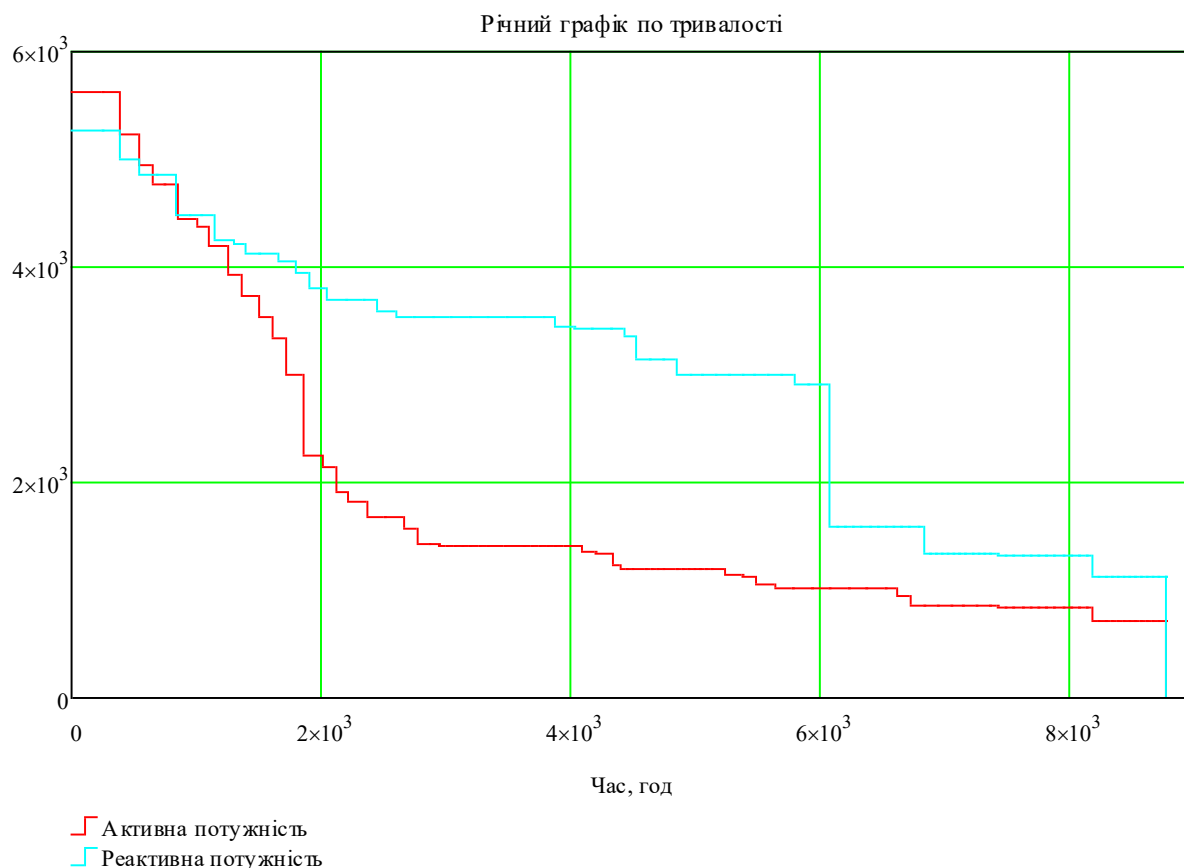
└─ P
└─ Q

Зимові вихідного дня



└─ P
└─ Q


~~~~~



|                                                                 |                              |
|-----------------------------------------------------------------|------------------------------|
| Споживання активної енергії за літню вихідну добу, кВт·год:     | $W_{\text{лето\_в}} = 22925$ |
| Споживання активної енергії за літню робочу добу, кВт·год:      | $W_{\text{лето\_р}} = 47761$ |
| Споживання активної енергії за зимову вихідну добу, кВт·год:    | $W_{\text{зима\_в}} = 26971$ |
| Споживання активної енергії за зимову робочу добу, кВт·год:     | $W_{\text{зима\_р}} = 56189$ |
| Споживання реактивної енергії за літню вихідну добу, квар·год:  | $V_{\text{лето\_в}} = 29579$ |
| Споживання реактивної енергії за літню робочу добу, квар·год:   | $V_{\text{лето\_р}} = 80849$ |
| Споживання реактивної енергії за зимову вихідну добу, квар·год: | $V_{\text{зима\_в}} = 34799$ |
| Споживання реактивної енергії за зимову робочу добу, квар·год:  | $V_{\text{зима\_р}} = 95116$ |
| Річне споживання активної енергії, кВт·год:                     | $W_{\Gamma} = 16128153$      |
| Річне споживання реактивної енергії, квар·год:                  | $V_{\Gamma} = 26152813$      |
| Кількість годин використання максимуму потужності, год:         | $T_{\text{max}} = 3988$      |
| Річний час максимальних втрат, год:                             | $\tau = 2323$                |

|  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

Арк.

34

## 6. Побудова картограми електричних та теплових навантажень, і вибір раціонального місця розташування ГПП/ЦРП та джерел теплопостачання

Побудова картограми електричних та теплових навантажень проводимо за методикою викладеною в [4].

Для прикладу наведемо побудову для корпусу №4:

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_1}{\pi m}} = \sqrt{\frac{314,11}{\pi \cdot 0,1}} = 32 \text{ мм}, \quad \alpha_i = \frac{P_{i.осв} \cdot 360}{P_1} = \frac{129,6 \cdot 360}{314,11} = 149^\circ.$$

Розрахунок координат центру електричних навантажень приведений в табл. 6.1. Центр навантаження знаходиться в точці з координатами  $X = 181$  м,  $Y = 119$  м.

Розміщення центру електричних навантажень показано на рис. 6.1.

Для визначення місця розташування котельні на генеральний план промислового підприємства наноситься картограма теплових навантажень. При побудові картограми для кожної будівлі визначається радіус кола, площа якого в вибраному масштабі дорівнює розрахунковому сумарному тепловому навантаженню будівлі  $Q_\Sigma$ .

Для корпусу №4:

$$R_1 = \sqrt{\frac{Q_\Sigma}{\pi m}} = \sqrt{\frac{2228,81}{\pi \cdot 0,4}} = 42 \text{ мм},$$

$$\alpha_B = \frac{Q_B \cdot 360}{Q_\Sigma} = \frac{337,5 \cdot 360}{2228,81} = 55^\circ,$$

$$\alpha_{Г.В.} = \frac{Q_{Г.В.}^{\max} \cdot 360}{Q_\Sigma} = \frac{18,19 \cdot 360}{2228,81} = 3^\circ.$$

Розрахунок теплової картограми наведений в табл. 6.2.

Розміщення центру теплових навантажень показано на рис. 6.2.

**Таблиця 6.1. Розрахунок картограми електричних навантажень**

| №      | Найменування цеху або відділення | $P_p^{сип}, \text{кВт}$ | $P_p^{осв}, \text{кВт}$ | $\Sigma P_p, \text{кВт}$ | R, мм | $\alpha$ , град | X, м | Y, м | PX, кВт•м  | PY, кВт•м |
|--------|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------|-----------------|------|------|------------|-----------|
| 1      | Корпус №4                        | 184,5                   | 129,60                  | 314,11                   | 32    | 149             | 65   | 140  | 20417,19   | 43975     |
| 2      | Корпус №3                        | 116,3                   | 34,56                   | 150,85                   | 22    | 82              | 90   | 180  | 13576,64   | 27153     |
| 3      | Корпус №21                       | 262,9                   | 162,72                  | 425,63                   | 37    | 138             | 90   | 55   | 38306,26   | 23409     |
| 4      | Корпус №1                        | 658,8                   | 211,25                  | 870,09                   | 53    | 87              | 120  | 110  | 104410,64  | 95710     |
| 5      | Корпус №2                        | 481,1                   | 233,86                  | 714,95                   | 48    | 118             | 145  | 160  | 103667,66  | 114392    |
| 6      | ДК Радій                         | 107,4                   | 28,35                   | 135,71                   | 21    | 75              | 125  | 200  | 16964,04   | 27142     |
| 7      | Котельня                         | 350,1                   | 37,80                   | 387,89                   | 35    | 35              | 170  | 75   | 65941,54   | 29092     |
| 8      | Мазутосховище                    | 22,8                    | 1,96                    | 24,80                    | 9     | 28              | 190  | 90   | 4712,37    | 2232      |
| 9      | Реагентне господарство           | 98,1                    | 2,16                    | 100,26                   | 18    | 8               | 200  | 100  | 20052,56   | 10026     |
| 10     | Компресорна                      | 823,6                   | 3,28                    | 826,83                   | 51    | 1               | 160  | 185  | 132292,69  | 152963    |
| 11     | Корпус №22                       | 173,9                   | 139,97                  | 313,88                   | 32    | 161             | 265  | 120  | 83178,78   | 37666     |
| 12     | Корпус №23                       | 126,5                   | 172,37                  | 298,89                   | 31    | 208             | 240  | 70   | 71732,57   | 20922     |
| 13     | Гараж №1                         | 19,4                    | 1,20                    | 20,62                    | 8     | 21              | 160  | 10   | 3299,09    | 206       |
| 14     | Електроцех                       | 23,6                    | 8,64                    | 32,24                    | 10    | 96              | 205  | 40   | 6608,69    | 1290      |
| 15     | Покрасочні бокси                 | 633,2                   | 3,78                    | 636,97                   | 45    | 2               | 310  | 80   | 197461,33  | 50958     |
| 16     | Склад кольорових металів         | 19,6                    | 7,49                    | 27,06                    | 9     | 100             | 190  | 10   | 5141,31    | 271       |
| 17     | Гараж №2                         | 47,7                    | 1,20                    | 48,90                    | 12    | 9               | 350  | 160  | 17115,69   | 7824      |
| 18     | Склад відходів                   | 43,8                    | 1,01                    | 44,77                    | 12    | 8               | 360  | 190  | 16116,60   | 8506      |
| 19     | Склад кабельної продукції        | 48,9                    | 1,92                    | 50,82                    | 13    | 14              | 310  | 35   | 15754,08   | 1779      |
| 20     | Склад                            | 40,7                    | 7,20                    | 47,90                    | 12    | 54              | 285  | 10   | 13650,84   | 479       |
| 21     | Насосна                          | 361,9                   | 0,86                    | 362,78                   | 34    | 1               | 320  | 120  | 116089,27  | 43533     |
| 22     | Їдальня                          | 58,1                    | 15,39                   | 73,50                    | 15    | 75              | 35   | 80   | 2572,37    | 5880      |
| Всього |                                  |                         |                         | 5909,44                  |       |                 |      |      | 1069062,20 | 705409    |

X= 181 м

Y= 119 м

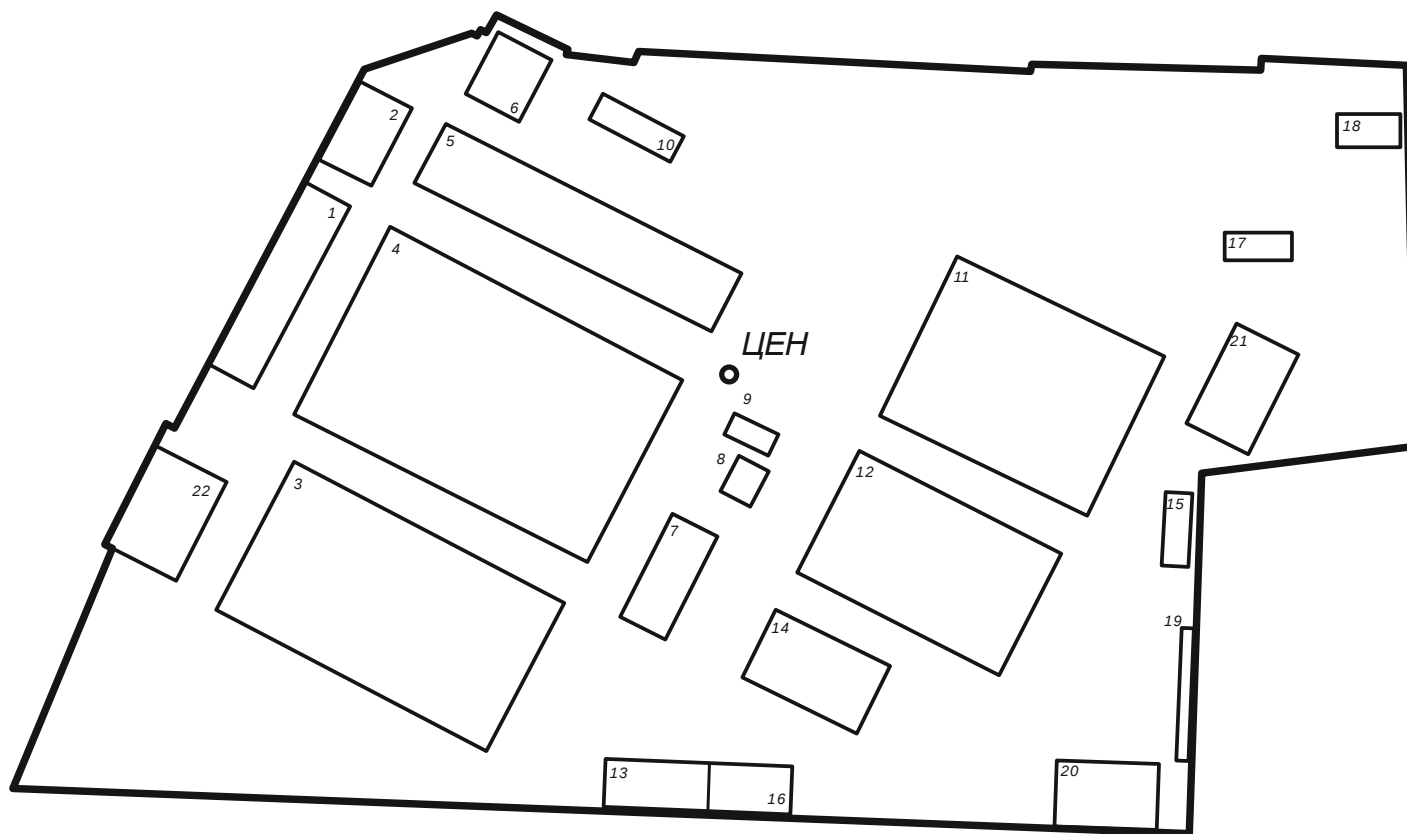


Рис. 6.1. Генплан підприємства з нанесенням центру електричних навантажень.  
1:2000

#### Експлікація споруд

| № п/п | Найменування              |
|-------|---------------------------|
| 1     | Корпус №4                 |
| 2     | Корпус №3                 |
| 3     | Корпус №21                |
| 4     | Корпус №1                 |
| 5     | Корпус №2                 |
| 6     | ДК Радій                  |
| 7     | Котельня                  |
| 8     | Мазутосховище             |
| 9     | Реагентне господарство    |
| 10    | Компресорна               |
| 11    | Корпус №22                |
| 12    | Корпус №23                |
| 13    | Гараж №1                  |
| 14    | Електроцех                |
| 15    | Покрасочні бокси          |
| 16    | Склад кольорових металів  |
| 17    | Гараж №2                  |
| 18    | Склад відходів            |
| 19    | Склад кабельної продукції |
| 20    | Склад                     |
| 21    | Насосна                   |
| 22    | Їдальня                   |

**Таблиця 6.2. Побудова теплової картограми підприємства.**

| № п/п                  | Найменування підрозділу   | $Q_o^p$ , кВт | $Q_b^p$ , кВт | $Q_{г.з.}^{max}$ , кВт | $Q_{\Sigma}$ , кВт | R, мм | $\alpha_b$ , град | $\alpha_{г.в.}$ , град | X, м | Y, м | QX, кВт•м | QY, кВт•м |
|------------------------|---------------------------|---------------|---------------|------------------------|--------------------|-------|-------------------|------------------------|------|------|-----------|-----------|
| 1                      | Корпус №4                 | 1873,13       | 337,50        | 18,19                  | 2228,81            | 42    | 55                | 3                      | 65   | 140  | 144872,7  | 312033,5  |
| 2                      | Корпус №3                 | 555,00        | 144,00        | 3,64                   | 702,64             | 24    | 74                | 2                      | 90   | 180  | 63237,3   | 126474,7  |
| 3                      | Корпус №21                | 2247,29       | 367,25        | 27,28                  | 2641,82            | 46    | 50                | 4                      | 90   | 55   | 237763,5  | 145299,9  |
| 4                      | Корпус №1                 | 2849,65       | 440,10        | 36,37                  | 3326,12            | 51    | 48                | 4                      | 120  | 110  | 399134,3  | 365873,1  |
| 5                      | Корпус №2                 | 3229,73       | 446,60        | 10,91                  | 3687,24            | 54    | 44                | 1                      | 145  | 160  | 534650,0  | 589958,6  |
| 6                      | ДК Радій                  | 169,97        | 76,13         | 3,64                   | 249,73             | 14    | 110               | 5                      | 125  | 200  | 31216,4   | 49946,2   |
| 7                      | Котельня                  | 78,75         | 62,10         | 1,82                   | 142,67             | 11    | 157               | 5                      | 170  | 75   | 24253,7   | 10700,1   |
| 8                      | Мазутосховище             | 34,72         | 17,95         | 0,91                   | 53,58              | 7     | 121               | 6                      | 190  | 90   | 10180,6   | 4822,4    |
| 9                      | Реагентне господарство    | 28,49         | 14,74         | 0,91                   | 44,14              | 6     | 120               | 7                      | 200  | 100  | 8827,9    | 4413,9    |
| 10                     | Компресорна               | 96,97         | 49,14         | 1,27                   | 147,38             | 11    | 120               | 3                      | 160  | 185  | 23581,2   | 27265,8   |
| 11                     | Корпус №22                | 1978,02       | 729,00        | 21,82                  | 2728,84            | 47    | 96                | 3                      | 265  | 120  | 723143,4  | 327461,2  |
| 12                     | Корпус №23                | 2435,90       | 269,33        | 18,19                  | 2723,41            | 47    | 36                | 2                      | 240  | 70   | 653617,4  | 190638,4  |
| 13                     | Гараж №1                  | 22,20         | 13,40         | 1,09                   | 36,69              | 5     | 131               | 11                     | 160  | 10   | 5870,6    | 366,9     |
| 14                     | Електроцех                | 142,08        | 69,60         | 1,82                   | 213,50             | 13    | 117               | 3                      | 205  | 40   | 43767,2   | 8539,9    |
| 15                     | Покрасочні бокси          | 58,28         | 29,25         | 0,73                   | 88,25              | 8     | 119               | 3                      | 310  | 80   | 27358,3   | 7060,2    |
| 16                     | Склад кольорових металів  | 233,77        | 121,68        | 0,55                   | 355,99             | 17    | 123               | 1                      | 190  | 10   | 67638,4   | 3559,9    |
| 17                     | Гараж №2                  | 22,20         | 13,40         | 1,09                   | 36,69              | 5     | 131               | 11                     | 350  | 160  | 12841,9   | 5870,6    |
| 18                     | Склад відходів            | 29,14         | 20,79         | 0,55                   | 50,47              | 6     | 148               | 4                      | 360  | 190  | 18170,3   | 9589,9    |
| 19                     | Склад кабельної продукції | 73,26         | 30,00         | 0,36                   | 103,62             | 9     | 104               | 1                      | 310  | 35   | 32123,4   | 3626,8    |
| 20                     | Склад                     | 224,78        | 119,25        | 3,64                   | 347,66             | 17    | 123               | 4                      | 285  | 10   | 99083,7   | 3476,6    |
| 21                     | Насосна                   | 19,71         | 10,08         | 3,64                   | 33,43              | 5     | 109               | 39                     | 320  | 120  | 10697,8   | 4011,7    |
| 22                     | Ідальня                   | 105,59        | 106,19        | 2,18                   | 213,97             | 13    | 179               | 4                      | 35   | 80   | 7488,8    | 17117,3   |
| Всього по підприємству |                           | 16508,60      | 3487,47       | 160,58                 | 20156,66           |       |                   |                        |      |      | 3179518,6 | 2218107,6 |
|                        |                           |               |               |                        |                    |       |                   |                        |      |      |           |           |
|                        |                           |               |               | X= 158                 | м                  |       |                   |                        |      |      |           |           |
|                        |                           |               |               |                        |                    |       |                   |                        |      |      |           |           |
|                        |                           |               |               | Y= 110                 | м                  |       |                   |                        |      |      |           |           |
|                        |                           |               |               |                        |                    |       |                   |                        |      |      |           |           |

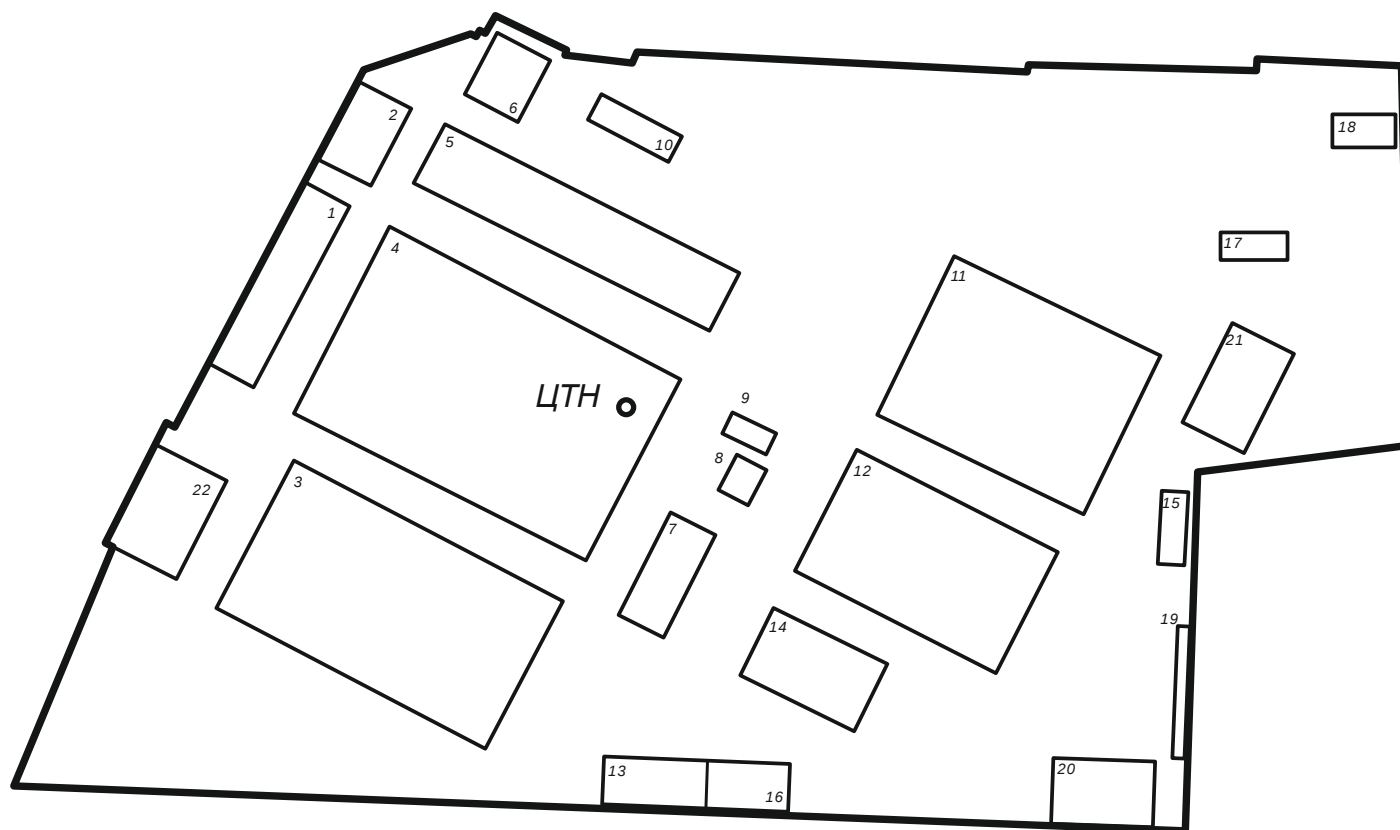


Рис. 6.2. Генплан підприємства з нанесенням центру теплових навантажень.  
1:2000

#### Експлікація споруд

| № п/п | Найменування              |
|-------|---------------------------|
| 1     | Корпус №4                 |
| 2     | Корпус №3                 |
| 3     | Корпус №21                |
| 4     | Корпус №1                 |
| 5     | Корпус №2                 |
| 6     | ДК Радій                  |
| 7     | Котельня                  |
| 8     | Мазутосховище             |
| 9     | Реагентне господарство    |
| 10    | Компресорна               |
| 11    | Корпус №22                |
| 12    | Корпус №23                |
| 13    | Гараж №1                  |
| 14    | Електроцех                |
| 15    | Покрасочні бокси          |
| 16    | Склад кольорових металів  |
| 17    | Гараж №2                  |
| 18    | Склад відходів            |
| 19    | Склад кабельної продукції |
| 20    | Склад                     |
| 21    | Насосна                   |
| 22    | Ідальня                   |

## 7. Вибір напруги і електричних схем зовнішнього електропостачання.

Вибір напруги і схеми зовнішнього електропостачання проведемо шляхом техніко-економічного розрахунку за методикою наведеною в [1, 4-6].

У відповідності з наявними варіантами електропостачання може здійснюватися від енергосистеми, що мають три класи напруги: 150, 35 та 10 кВ. Враховуючи невелику потужність підприємства для якого розробляється система енергопостачання варіант напругою 150 кВ слід відкинути одразу. Отже, розглянемо два варіанти електропостачання напругою 10 і 35 кВ (рис. 7.1).

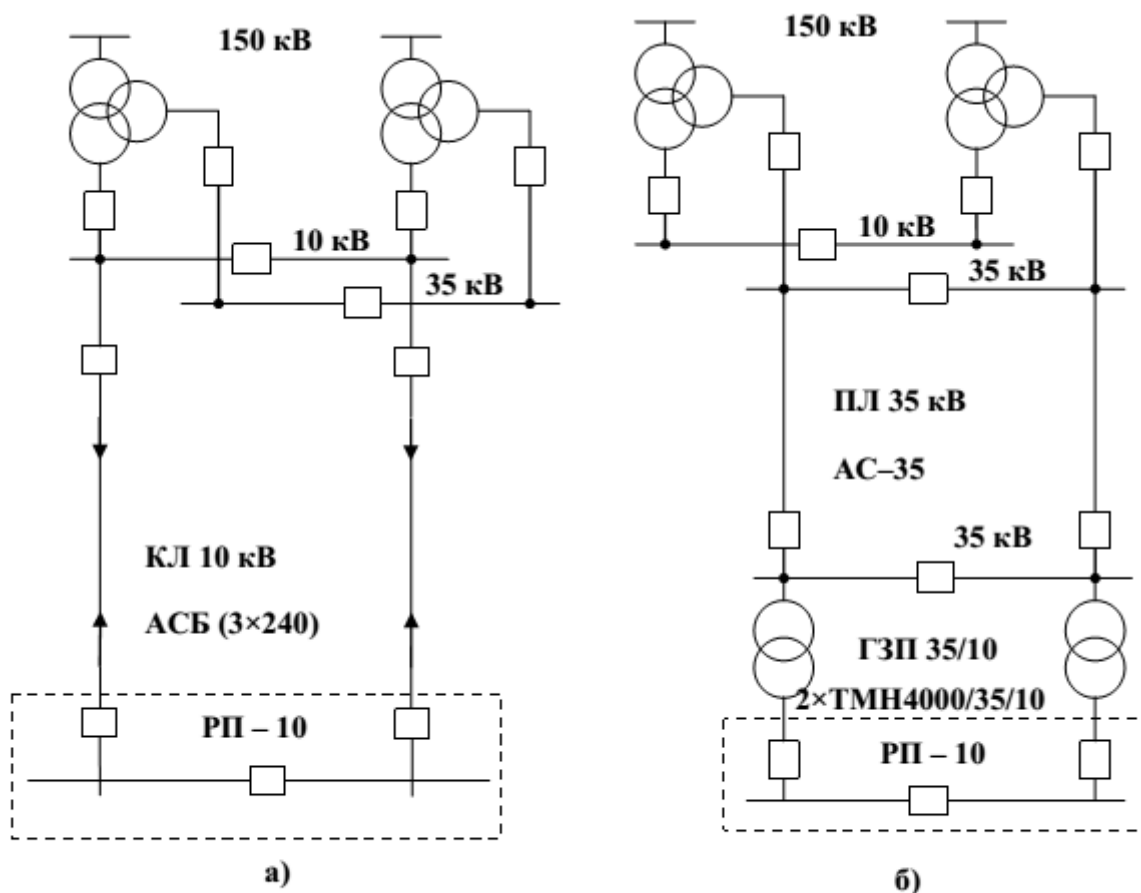


Рис. 7.1. Схеми зовнішнього електропостачання.

**Варіант 1.** Електропостачання здійснюється кабельними лініями напругою 10 кВ з встановленням ЦРП на території підприємства (рис. 7.1.а).

*Розрахунок капітальних вкладень для варіанту 10 кВ*

Розрахунок капітальних вкладень для варіанту 10 кВ проведемо в табличному вигляді табл. 7.1.

|  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

Таблиця 7.1. Розрахунок капітальних вкладень для варіанту 10 кВ.

| №<br>вар. | Назва елемента схеми | Оди-<br>ниця | Кількість | Вартість | Всього   |
|-----------|----------------------|--------------|-----------|----------|----------|
| 1         | КЛ 10 кВ             | км           | 2,4       | 417,6    | 1002,24  |
|           | Траншея              | км.          | 1,2       | 102,96   | 123,552  |
|           | Шафи КРП серії КУ-10 | шт.          | 2         | 144      | 288      |
| Всього    |                      |              |           |          | 1413,792 |

*Розрахунок поточних витрат для варіанту 10 кВ*

Розрахунок поточних витрат для варіанту 10 кВ проведемо в табличному вигляді табл. 7.2.

Таблиця 7.2. Розрахунок поточних витрат для варіанту 10 кВ.

| №<br>вар | Назва елемента схеми | К <sub>ж</sub> ,<br>тис.грн. | Р <sub>аж</sub> ,<br>% | С <sub>аж</sub> ,<br>тис.грн. | Р <sub>эж</sub> ,<br>% | С <sub>эж</sub> ,<br>тис.грн. | С <sub>ж</sub> ,<br>тис.грн. |
|----------|----------------------|------------------------------|------------------------|-------------------------------|------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 1        | КЛ 10 кВ             | 1002,24                      | 5                      | 50,112                        | 5                      | 50,112                        | 100,224                      |
|          | Траншея              | 123,552                      | 5                      | 6,1776                        | 5                      | 6,1776                        | 12,3552                      |
|          | Шафи КРП серії КУ-10 | 288                          | 15                     | 43,2                          | 5                      | 14,4                          | 57,6                         |
| Всього   |                      |                              |                        |                               |                        |                               | 170,179                      |

Вартість втрат електроенергії (в кабельних лініях):

$$C_{\text{втр}} = \Delta W_{\text{л}} C_0 = 48179,02 \cdot 8,0 \cdot 0,001 = 385,43 \text{ тис. грн.}$$

**Варіант 2.** Електропостачання здійснюється повітряними лініями напругою 35 кВ зі спорудженням ГПП на території підприємства (рис. 7.1 б).

*Розрахунок капітальних вкладень для варіанту 35 кВ*

Розрахунок капітальних вкладень для варіанту 35 кВ проведемо в табличному вигляді табл. 7.3.

Таблиця 7.3. Розрахунок капітальних вкладень для варіанту 35 кВ

| №<br>вар. | Назва елемента схеми    | Оди-<br>ниця | Кількість | Вартість | Всього  |
|-----------|-------------------------|--------------|-----------|----------|---------|
| 2         | ЛЕП 35 кВ на з/б опорах | км           | 1,2       | 451      | 541,2   |
|           | ВРП 35 кВ               | шт.          | 1         | 684      | 684     |
|           | 2 х ТМН-4000/35         | шт.          | 2         | 5760     | 11520   |
| Всього    |                         |              |           |          | 12745,2 |

*Розрахунок поточних витрат для варіанту 35 кВ*

Розрахунок поточних витрат для варіанту 35 кВ проведемо в табличному вигляді табл. 7.4.

Таблиця 7.4. Розрахунок поточних витрат для варіанту 35 кВ

| №<br>вар | Назва елемента схеми    | К <sub>ј</sub> ,<br>тис.грн. | Р <sub>ај</sub> ,<br>% | С <sub>ај</sub> ,<br>тис.грн. | Р <sub>эј</sub> ,<br>% | С <sub>ај</sub> ,<br>тис.грн. | С <sub>ј</sub> ,<br>тис.грн. |
|----------|-------------------------|------------------------------|------------------------|-------------------------------|------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 2        | ЛЕП 35 кВ на з/б опорах | 541,2                        | 5                      | 27,06                         | 5                      | 27,06                         | 54,12                        |
|          | ВРП 35 кВ               | 684                          | 15                     | 102,6                         | 5                      | 34,2                          | 136,8                        |
|          | 2 х ТМН-4000/35         | 11520                        | 15                     | 1728                          | 5                      | 576                           | 2304                         |
| Всього   |                         |                              |                        |                               |                        |                               | 2494,92                      |

Вартість витрат електроенергії:

$$C_{\text{втр}} = \Delta W_{\Sigma} C_0 = 349317,88 \cdot 4,5 \cdot 0,001 = 1571,9 \text{ тис. грн.}$$

Розрахунок загальних витрат по варіантам наведений в табл. 7.5.

Таблиця 7.5. Техніко-економічні показники варіантів зовнішнього електропостачання

| Показники                      | Варіанти  |           |
|--------------------------------|-----------|-----------|
|                                | 1 (10 кВ) | 2 (35 кВ) |
| Капітальні вкладення           | 1413,79   | 12745,2   |
| Поточні витрати                | 170,18    | 2494,92   |
| Вартість витрат електроенергії | 385,43    | 1571,9    |
| Зведені витрати                | 725,26    | 5596,24   |

На основі проведених техніко-економічних обчислень встановлено, що впровадження системи зовнішнього електропостачання напругою 10 кВ є найбільш ефективним завдяки значному зниженню приведених витрат, тому цей варіант прийнято до впровадження.

## 8. Режими реактивної потужності системи електропостачання

### 8.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв в високовольтних та низьковольтних мережах

На основі теоретичних положень [1, 4-6] проведено розрахунок балансу реактивної потужності. Для спрощення викладу безпосередній процес математичних обчислень у розділі не демонструється. Підсумкові результати обчислень для розрахункових варіантів  $N = N_0$ ,  $N = N_0 + 1$  та  $N = N_0 + 2$  наведено в табл. 8.1.1.

Таблиця 8.1.1. Результати обчислень балансу реактивної потужності для варіантів компенсації  $N = N_0$ ,  $N = N_0 + 1$  та  $N = N_0 + 2$

| № варіанту | Кількість тр-торів | $Q_1$ , кВАр | $Q_{KH}$ , кВАр | $Q_{KB}$ , кВАр |
|------------|--------------------|--------------|-----------------|-----------------|
| 1          | 13                 | 1101,95      | 3787,35         | 631,47          |
| 2          | 14                 | 2542,69      | 2346,61         | 2072,21         |
| 3          | 15                 | 3479,26      | 1410,04         | 3008,78         |

### 8.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв підприємства

Обґрунтування кількості, одиничної потужності та місць інсталяції компенсуючих пристроїв здійснюється на основі порівняльного техніко-економічного аналізу варіантів. Як критерій економічної доцільності прийнято мінімум приведених витрат.

Розрахунок потужності, місця розташування компенсуючих пристроїв в електричній мережі підприємства проводимо за викладками з [1, 4-6].

Розрахунок проведений для варіантів  $N = N_0$ ,  $N = N_0 + 1$  та  $N = N_0 + 2$  результати відповідно наведені в табл. 8.2.1, 8.2.2 та 8.2.3.

Таблиця 8.2.1. Вибір типу та потужності БК при кількості трансформаторів N = 13 шт.

| №<br>КТП                                                                                   | К-сть<br>т-рів | $P_p$ ,<br>кВт | $Q_p$ ,<br>кВАр | $Q_{пр}$ ,<br>кВАр | $Q_{кп}$ ,<br>кВАр | Кількість та потужність<br>БК, шт. · кВАр | Сума<br>$Q_{БК}$ ,<br>кВАр | $Q_{кп}$ -<br>$Q_{бк}$ ,<br>кВАр | $K_3$ | $S_p$ , кВА |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|-----------------|--------------------|--------------------|-------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------|-------|-------------|
| 1                                                                                          | 2              | 836,261        | 760,262         | 280,34             | 479,922            | 2×КРМ-0,4-250                             | 500                        | -20,078                          | 0,7   | 875,824     |
| 2                                                                                          | 2              | 870,089        | 749,442         | 144,46             | 604,982            | 2×КРМ-0,4-300                             | 600                        | 4,98157                          | 0,7   | 882,829     |
| 3,4                                                                                        | 4              | 1755,45        | 1599,06         | 173,47             | 1425,59            | 4×КРМ-0,4-375                             | 1500                       | -74,415                          | 0,7   | 1758,24     |
| 5                                                                                          | 2              | 848,526        | 842,101         | 240,68             | 601,421            | 2×КРМ-0,4-300                             | 600                        | 1,42057                          | 0,7   | 882,388     |
| 6,7                                                                                        | 3              | 1315,76        | 938,407         | 138,2              | 800,207            | 3×КРМ-0,4-300                             | 900                        | -99,793                          | 0,7   | 1316,32     |
| Сумарна потужність БК на стороні 0,4 кВ складає 4100 кВАр.                                 |                |                |                 |                    |                    |                                           |                            |                                  |       |             |
| Кількість та потужність БК на стороні 10 кВ: сумарна потужність БК 10 кВ складає 900 кВАр. |                |                |                 |                    |                    |                                           |                            |                                  |       |             |



| Таблиця 8.2.3. Вибір типу та потужності БК при кількості трансформаторів N = 15 шт.         |                |                |                 |                    |                    |                                           |                            |                                  |       |             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|-----------------|--------------------|--------------------|-------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------|-------|-------------|
| №<br>КТП                                                                                    | К-сть<br>т-рів | $P_p$ ,<br>кВт | $Q_p$ ,<br>кВАр | $Q_{np}$ ,<br>кВАр | $Q_{кп}$ ,<br>кВАр | Кількість та потужність<br>БК, шт. · кВАр | Сума<br>$Q_{БК}$ ,<br>кВАр | $Q_{кп}$ -<br>$Q_{бк}$ ,<br>кВАр | $K_3$ | $S_p$ , кВА |
| 1                                                                                           | 2              | 836,261        | 760,262         | 280,34             | 479,922            | 2×КРМ-0,4-250                             | 500                        | -20,078                          | 0,7   | 875,824     |
| 2                                                                                           | 2              | 870,089        | 749,442         | 144,46             | 604,982            | 2×КРМ-0,4-300                             | 600                        | 4,98157                          | 0,7   | 882,829     |
| 3,4,5                                                                                       | 5              | 1755,45        | 1599,06         | 1334,32            | 264,735            | 5×КРМ-0,4-60                              | 300                        | -35,265                          | 0,69  | 2183,84     |
| 6                                                                                           | 2              | 848,526        | 842,101         | 240,68             | 601,421            | 2×КРМ-0,4-300                             | 600                        | 1,42057                          | 0,7   | 882,388     |
| 7,8                                                                                         | 4              | 1315,76        | 938,407         | 1174,93            | 0                  | -                                         | 0                          | 0                                | 0,64  | 1616,12     |
| Сумарна потужність БК на стороні 0,4 кВ складає 2000 кВАр.                                  |                |                |                 |                    |                    |                                           |                            |                                  |       |             |
| Кількість та потужність БК на стороні 10 кВ: сумарна потужність БК 10 кВ складає 2700 кВАр. |                |                |                 |                    |                    |                                           |                            |                                  |       |             |

Результати розрахунку приведених витрат по різних варіантам компенсації реактивної потужності підприємства наведені в табл. 8.2.4.

Таблиця 8.2.4. Розрахункові витрати на компенсацію реактивної потужності по варіантам 1 –  $N = N_0$ , 2 –  $N = N_0 + 1$ , 3 –  $N = N_0 + 2$ .

| №<br>вар. | $Q_{\text{кн}},$<br>кВАр | $\Delta P_{\text{кн}},$<br>кВт | $Q_{\text{кв}},$<br>кВАр | $\Delta P_{\text{кв}},$<br>кВт | $N_{\text{тр}},$<br>шт. | $R_{\text{екв}},$<br>Ом | $S_{\text{пр}},$<br>кВА | $\Delta P_{\text{тп}},$<br>кВт | $K_{\text{кн}},$<br>тис.<br>грн. | $K_{\text{кв}},$<br>тис.<br>грн. | $K_{\text{ксп}},$<br>тис.<br>грн. | $З,$<br>тис.<br>грн. |
|-----------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|
| 1         | 4100                     | 18,5                           | 900                      | 2,7                            | 13                      | 0,11                    | 5733                    | 36,15                          | 2959,1                           | 241,4                            | 7178,4                            | 1605                 |
| 2         | 2900                     | 13,1                           | 1800                     | 5,4                            | 14                      | 0,1                     | 6174                    | 38,12                          | 2280,3                           | 482,8                            | 7736,4                            | 1615                 |
| 3         | 2000                     | 9                              | 2700                     | 8,1                            | 15                      | 0,09                    | 6615                    | 39,38                          | 1638                             | 724,2                            | 8281,8                            | 1632                 |

Відповідно до результатів виконаних обчислень, до впровадження приймається перший варіант компенсації реактивної потужності, який передбачає встановлення 14 силових трансформаторів ( $N_{\text{тр}} = N_0 = 14$  шт.).

## 9. Розрахунок струмів коротких замикань та вибір високовольтного обладнання і високовольтних мереж системи електропостачання

### 9.1. Розрахунок струмів короткого замикання

Розрахунок струмів короткого замикання виконується на основі розрахункової схеми електропостачання, наведеної на рис. 9.1, та її еквівалентної схеми заміщення, що представлена на рис. 9.2.

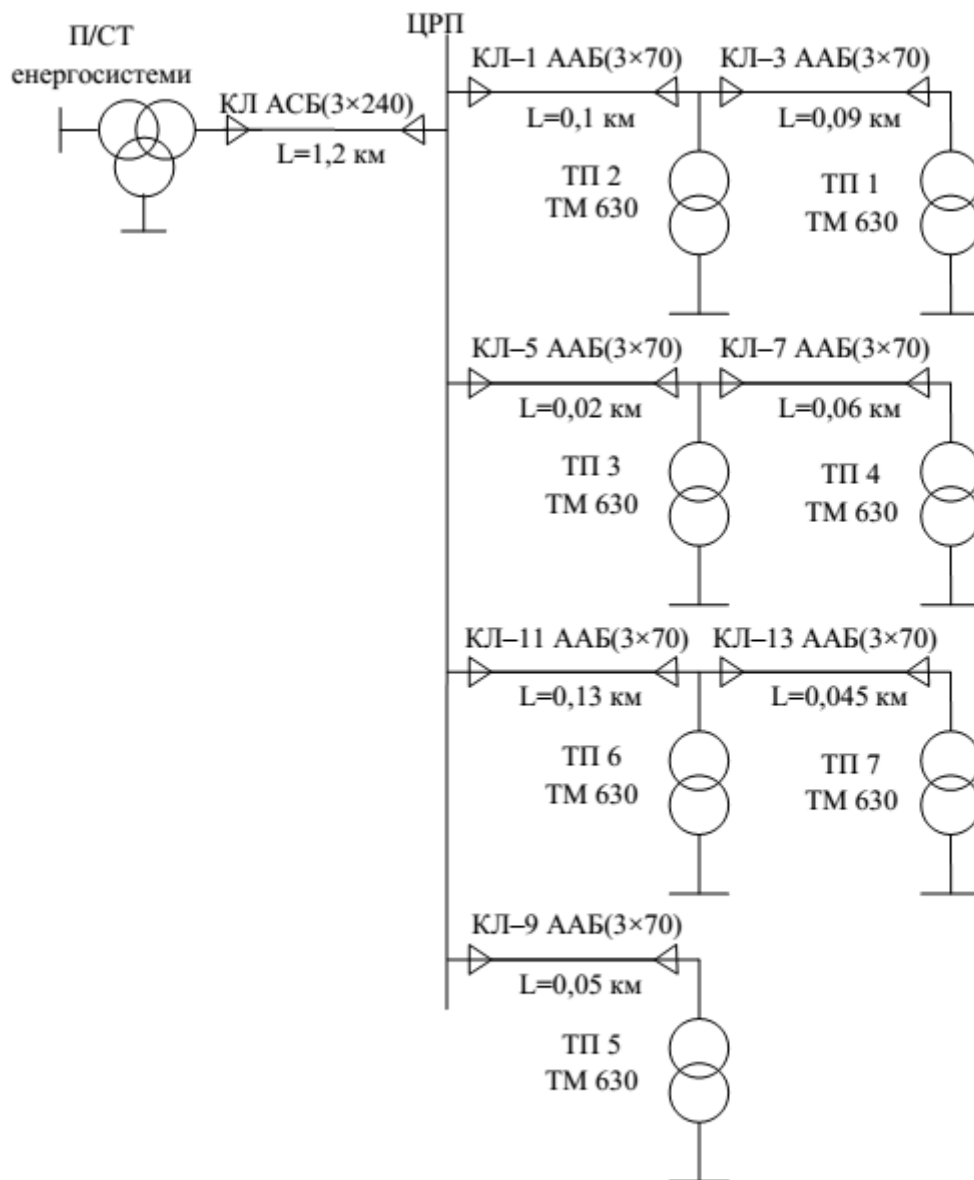


Рис. 9.1 Розрахункова схема ЦРП для розрахунку струмів к. з.

|  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

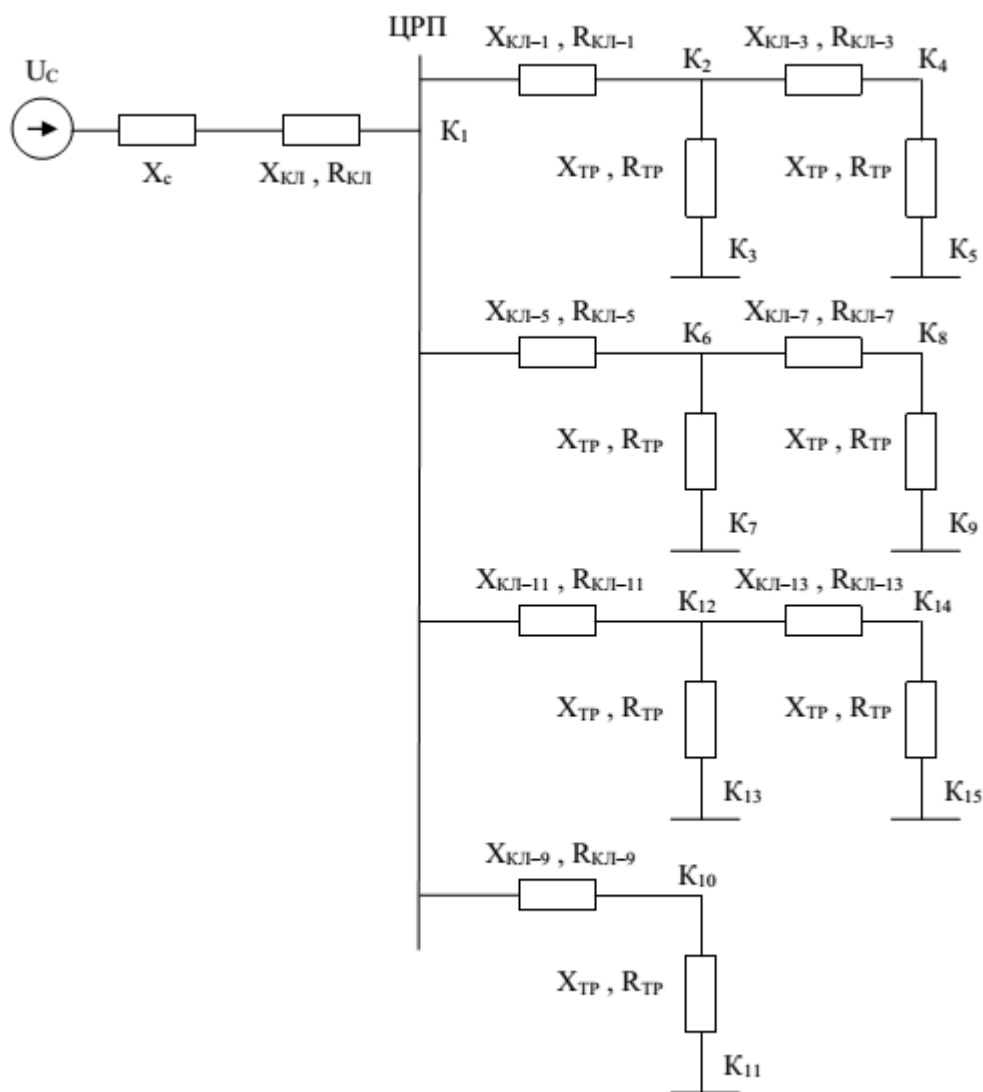


Рис. 9.2. Схема заміщення ЦРП для розрахунку струмів к. з.

Розрахуємо опори елементів схеми заміщення:

– трансформатора ТМ 630

$$R = \frac{P_{кз} U_n^2}{S_n^2} = \frac{7,6 \cdot 10^2}{630^2} = 1,91 \text{ Ом};$$

$$Z = \frac{U_{к\%} U_n^2}{S_n} = \frac{5,5 \cdot 10^2}{630} = 8,7 \text{ Ом};$$

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{8,7^2 - 1,91^2} = 8,49 \text{ Ом};$$

– для КЛ від енергосистеми до ЦРП

$$X = \frac{x_0 l}{n} = \frac{0,075 \cdot 1,2}{1} = 0,09 \text{ Ом};$$

|  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

$$R = \frac{r_0 l}{n} = \frac{0,129 \cdot 1,2}{1} = 0,155 \text{ Ом};$$

– опір енергосистеми

$$x_c = \frac{U}{\sqrt{3}I''} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 8,5} = 0,713;$$

– КЛ-1 від ЦРП до ТП 2

$$X = x_0 l = 0,086 \cdot 0,1 = 0,009 \text{ Ом};$$

$$R = r_0 l = 0,443 \cdot 0,1 = 0,044 \text{ Ом}.$$

Розрахунок опорів інших кабельних ліній подібний результати розрахунку зведені в табл. 9.1.

Таблиця 9.1 Розрахунок опорів кабельних ліній.

| № КЛ    | L, км | R, Ом | X, Ом |
|---------|-------|-------|-------|
| КЛ1,2   | 0,1   | 0,044 | 0,009 |
| КЛ3,4   | 0,09  | 0,040 | 0,008 |
| КЛ5,6   | 0,02  | 0,009 | 0,002 |
| КЛ7,8   | 0,06  | 0,027 | 0,005 |
| КЛ9,10  | 0,05  | 0,022 | 0,004 |
| КЛ11,12 | 0,13  | 0,058 | 0,011 |
| КЛ13    | 0,45  | 0,020 | 0,004 |

Розрахуємо струм к.з. в т. К1.

Струм від енергосистеми:

$$I'' = \frac{U}{\sqrt{3}Z_{\text{рез}}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 0,818} = 7,143 \text{ кА}$$

$$R_{\text{екв}} = R_{\text{КЛ}} = 0,155 \text{ Ом};$$

$$X_{\text{екв}} = X_{\text{КЛ}} + x_c = 0,09 + 0,713 = 0,803 \text{ Ом}$$

$$Z_{\text{екв}} = \sqrt{X_{\text{екв}}^2 + R_{\text{екв}}^2} = \sqrt{0,803^2 + 0,155^2} = 0,818 \text{ Ом}$$

Ударний струм к. з. від енергосистеми

$$i_y = \sqrt{2}I''(1 + e^{\frac{-0,01}{T_i}}) = \sqrt{2} \cdot 7,143(1 + e^{\frac{-0,01}{0,0165}}) = 16,201 \text{ кА}$$

$$T_a = \frac{X_{екв}}{\omega \cdot R_{екв}} = \frac{0,803}{314 \cdot 0,155} = 0,0165 \text{ 1/с}$$

Розрахунки струмів короткого замкнення для інших точок подібні результати розрахунку зведені в табл. 9.2.

Таблиця 9.2. Розрахунок струмів короткого замкнення.

| № т. к. з. | $X_{екв}$ , Ом | $R_{екв}$ , Ом | $I_{\Sigma}''$ , кА | $T_a$ , 1/с | $i_{y\Sigma}$ , кА |
|------------|----------------|----------------|---------------------|-------------|--------------------|
| 1          | 0,803          | 0,155          | 7,143               | 0,0165      | 16,201             |
| 2          | 0,812          | 0,199          | 7,251               | 0,013       | 15,005             |
| 3          | 9,332          | 2,109          | 15,841              | 0,014       | 33,42              |
| 4          | 0,82           | 0,239          | 6,76                | 0,011       | 13,388             |
| 5          | 9,34           | 2,149          | 15,06               | 0,014       | 31,64              |
| 6          | 0,805          | 0,164          | 7,379               | 0,016       | 15,94              |
| 7          | 9,325          | 2,074          | 15,865              | 0,014       | 33,596             |
| 8          | 0,81           | 0,191          | 6,938               | 0,014       | 14,49              |
| 9          | 9,33           | 2,101          | 15,092              | 0,014       | 31,868             |
| 10         | 0,807          | 0,177          | 7,338               | 0,015       | 15,588             |
| 11         | 9,327          | 2,087          | 15,857              | 0,014       | 33,532             |
| 12         | 0,814          | 0,213          | 7,205               | 0,012       | 14,669             |
| 13         | 9,334          | 2,123          | 15,832              | 0,014       | 33,353             |
| 14         | 0,818          | 0,233          | 6,788               | 0,011       | 13,525             |
| 15         | 9,338          | 2,143          | 15,065              | 0,014       | 31,67              |

## 9.2. Вибір кабелів напругою 10 кВ для високовольтної мережі

Виберемо, в якості прикладу кабель для лінії (КЛ-1) від ЦРП до ТП №2.

Площа поперечного перерізу кабелю за економічною щільністю:

$$F_e = \frac{I_p}{J_{ек}} = \frac{52,2}{1,4} = 37 \text{ мм}^2$$

$$\text{де } I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_n} = \frac{1808,9}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 52,2 \text{ А}$$

$$\text{При } T_{\max} = 3988 \text{ год} - J_{ек} = 1,4 \text{ А/мм}^2$$

Приймається кабель ААБ (3×70) мм<sup>2</sup> з допустимим струмом  $I_{\text{доп}} = 165 \text{ А}$ .

Перевірка кабелю за допустимим струмовим навантаженням:

$$I_p \leq I_{\text{доп}} \quad 52,2 \text{ А} \leq 165 \text{ А}$$

$$I_{\text{доп}} = K_{\text{II}} I_{\text{доп}}' \quad I_{\text{доп}} = 0,92 \cdot 165 = 151,8 \text{ А}$$

де  $K_{\text{II}}$  – коефіцієнт, який враховує зниження допустимого струмового навантаження при прокладанні декількох кабелів в одній траншеї.

Мінімальна площа поперечного перерізу кабелю за умовою термічної стійкості при дії струму короткого замикання:

$$F_{\text{min}} = \frac{1}{C} \sqrt{B_{\text{к}}} = \frac{1}{92} \sqrt{25,5 \cdot 10^6} = 55 \text{ мм}^2$$

де  $C$  – термічний коефіцієнт, що для алюмінієвих кабелів орієнтовно складає  $C = 92 \text{ А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$ ;

$B_{\text{к}}$  – тепловий імпульс, обчислимо за формулою:

$$B_{\text{к}} = I_{\text{п.о.}}^2 (t_{\text{отк}} + T_{\text{а}}) = 7,143^2 (0,5 + 0,0) = 25,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Інші кабелі системи електропостачання обираються аналогічно, розрахунки зводяться до табл. 9.3.

Таблиця 9.3. Вибір кабельних ліній 10 кВ.

| № КЛ     | S <sub>p</sub> , кВА | n | I <sub>p</sub> , А | I <sub>p.ав</sub> , А | F <sub>ек</sub> , мм <sup>2</sup> | Марка кабеля | I <sub>доп</sub> , А | K <sub>п</sub> | K <sub>п</sub> I <sub>доп</sub> | K <sub>з</sub> | K <sub>ап</sub> | K <sub>п</sub> ' | K <sub>ап</sub> K <sub>п</sub> 'I <sub>доп</sub> | B <sub>к</sub> , кА <sup>2</sup> с | F <sub>min</sub> , мм <sup>2</sup> |
|----------|----------------------|---|--------------------|-----------------------|-----------------------------------|--------------|----------------------|----------------|---------------------------------|----------------|-----------------|------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| КЛ-1,2   | 1808,9               | 2 | 52,2               | 104,4                 | 37                                | ААБ(3×70)    | 165                  | 0,92           | 151,8                           | 0,34           | 1               | 1,3              | 214,5                                            | 25,5                               | 55                                 |
| КЛ-3,4   | 904,3                | 2 | 26,1               | 52,2                  | 19                                | ААБ(3×70)    | 165                  | 0,92           | 151,8                           | 0,17           | 1               | 1,3              | 214,5                                            | 25,5                               | 55                                 |
| КЛ-5,6   | 1788,7               | 2 | 51,6               | 103,3                 | 37                                | ААБ(3×70)    | 165                  | 0,92           | 151,8                           | 0,31           | 1               | 1,3              | 214,5                                            | 25,5                               | 55                                 |
| КЛ-7,8   | 894,3                | 2 | 25,8               | 51,6                  | 18                                | ААБ(3×70)    | 165                  | 0,92           | 151,8                           | 0,16           | 1               | 1,3              | 214,5                                            | 25,5                               | 55                                 |
| КЛ-9,10  | 909,9                | 2 | 26,3               | 52,5                  | 19                                | ААБ(3×70)    | 165                  | 0,92           | 151,8                           | 0,16           | 1               | 1,3              | 214,5                                            | 25,5                               | 55                                 |
| КЛ-11,12 | 891,2                | 2 | 25,7               | 77,2                  | 18                                | ААБ(3×70)    | 165                  | 0,92           | 151,8                           | 0,16           | 1               | 1,3              | 214,5                                            | 25,5                               | 55                                 |
| КЛ-13    | 445,6                | 1 | 25,7               | 0,0                   | 18                                | ААБ(3×70)    | 165                  | 1              | 165                             | 0,16           | 1               | 1,3              | 214,5                                            | 25,5                               | 55                                 |

### 9.3. Вибір електричних апаратів високої напруги

На вводі 10 кВ встановлюються вакуумні вимикачі типу ВР1-10-20/630. Розрахунки по вибору та перевірці вимикача приведені в табл. 9.4. та 9.5.

Всі вимикачі встановлені в комірках комплектних розподільчих пристроїв внутрішньої установки типу КУ-10Ц виробництва РЗВА.

*Вибір вимикачів навантаження.*

Вимикачі навантаження, підлягають вибору за номінальною напругою, тривалим струмом та комутаційною здатністю в нормальному режимі роботи. Обов'язковим етапом є їхня перевірка на електродинамічну та термічну стійкість під час проходження наскрізних струмів КЗ.

Таблиця 9.4. Вибір вимикачів 10 кВ на вводах в ЦРП.

| Параметри мережі                        | Розрахункові формули                                              | Параметри вимикача                                          |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 10 кВ                                   | $U_{уст} \leq U_{ном}$                                            | 10 кВ                                                       |
| 324,79 А                                | $I_{роб\ форс} \leq I_{ном}$                                      | 630 А                                                       |
| 7,143 кА                                | $I_K \leq I_{дин}$                                                | 52 кА                                                       |
| 16,201 кА                               | $i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин}$                                     | 132 кА                                                      |
| 7,143 кА                                | $I_{нт} \leq I_{ном\ відкл}$                                      | 20 кА                                                       |
| $\sqrt{2} \cdot 7,143 + 5,51 = 15,6$ кА | $\sqrt{2}I_{номл} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{невідкл}(1 + \beta_n)$ | $\sqrt{2} \cdot 20 \cdot (1 + 0,5) = 42,426$ кА             |
| 78,8 кА <sup>2</sup> с                  | $B_K \leq I_{тер}^2 t_{тер}$                                      | $I_{тер}^2 t_{тер} = 20^2 \cdot 3 = 1200$ кА <sup>2</sup> с |

$$i_{ат} = \sqrt{2}I''e^{-\frac{\tau}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 7,143e^{-\frac{0,01}{0,0165}} = 5,51 \text{ кА}$$

Таблиця 9.5. Вибір вимикачів на лініях, що відходять від ЦРП до ТП.

| Параметри мережі                        | Розрахункові формули                                              | Параметри вимикача                                          |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 10 кВ                                   | $U_{уст} \leq U_{ном}$                                            | 10 кВ                                                       |
| 52,2 А                                  | $I_{роб\ форс} \leq I_{ном}$                                      | 630 А                                                       |
| 7,143 кА                                | $I_K \leq I_{дин}$                                                | 52 кА                                                       |
| 16,201 кА                               | $i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин}$                                     | 132 кА                                                      |
| 7,143 кА                                | $I_{нт} \leq I_{ном\ відкл}$                                      | 20 кА                                                       |
| $\sqrt{2} \cdot 7,143 + 5,51 = 15,6$ кА | $\sqrt{2}I_{номл} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{невідкл}(1 + \beta_n)$ | $\sqrt{2} \cdot 20 \cdot (1 + 0,5) = 42,426$ кА             |
| 27,8 кА <sup>2</sup> с                  | $B_K \leq I_{тер}^2 t_{тер}$                                      | $I_{тер}^2 t_{тер} = 20^2 \cdot 3 = 1200$ кА <sup>2</sup> с |

До встановлення приймається вимикач навантаження типу ВНП-10. Параметри його вибору та результати перевірки за умов експлуатації зведено в табл. 9.6.

Таблиця 9.6. Вибір вимикачів навантаження.

| Параметри мережі       | Розрахункові формули           | Параметри вимикача                     |
|------------------------|--------------------------------|----------------------------------------|
| 10 кВ                  | $U_{уст} \leq U_{ном}$         | 10 кВ                                  |
| 50,9 А                 | $I_{мах} \leq I_{ном}$         | 400 А                                  |
| 50,9 А                 | $I_{мах} \leq I_{відк.ном}$    | 400 А                                  |
| 7,143 кА               | $I_{п.о.} \leq I_{пр.с.}$      | 10 кА                                  |
| 16,201 кА              | $i_{уд} \leq i_{дин}$          | 25 кА                                  |
| 27,8 кА <sup>2</sup> с | $B_K \leq I_{терм}^2 t_{терм}$ | $10^2 \cdot 1 = 100$ кА <sup>2</sup> с |

$$I_{\max} = 1,4 \frac{S_{\text{номТР}}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}} = 1,4 \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 50,9 \text{ А}$$

#### 9.4. Вибір потужності трансформаторів власних потреб ЦРП

Розрахунок електричного навантаження трансформаторів власних потреб проведемо в табличній формі – табл. 9.7.

Таблиця 9.7. Навантаження власних потреб ЦРП.

| №<br>п/п | Споживач                                    | Р, кВт | Q, квар |
|----------|---------------------------------------------|--------|---------|
| 1        | Обігрів комірок КРП 10 кВ.                  | 18×1   | 0       |
| 2        | Навантаження яке споживають оперативні кола | 2      | 0       |
| Всього   |                                             | 20     | 0       |

Розрахункова потужність споживачів власних потреб обох секцій ЦРП:

$$S_{\text{розр}} = K_C \sqrt{(P_{\text{встр}}^2 + Q_{\text{встр}}^2)} = 0,8 \sqrt{20^2 + 0^2} = 16 \text{ кВА.}$$

Потужність трансформатора власних потреб повинна задовольняти нерівності:

$$S_{\text{тр}} \geq \frac{S_{\text{розр}}}{1,4} = \frac{16}{1,4} = 11,5 \text{ кВА.}$$

Отже, обираємо трансформатор типу ТМ – 25/10. Коефіцієнт завантаження обраного трансформатора в нормальному режимі (є живлення на обох секціях шин):

$$K_3 = \frac{S_{\text{роз}}}{nS_{\text{ном}}} = \frac{16}{2 \cdot 25} = 0,32.$$

|  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

## 10. Розробка системи контролю енергоресурсів

### 10.1. Вимоги до технічних засобів та організація системи АСКУЕ

Розробка системи енергетичного контролю призначена для організації автоматичного контролю і обліку енергоресурсів відповідно до вимог «Концепції побудови автоматизованих систем обліку електроенергії в умовах енергоринку» на межах балансової приналежності енергопостачаючих організацій.

Структури АСКУЕ призначені для вирішення таких завдань:

- комплексний автоматизований комерційний і технічний облік електроенергії й енергоносіїв на підприємстві, його інфраструктурах за чинними тарифними системами за всіма параметрами енергообліку (для електроенергії - за споживанням енергії та потужності) з метою забезпечення зовнішніх і внутрішніх розрахунків за енергоресурси й забезпечення їх раціональних витрат;
- контроль енергоспоживання за всіма енергоносіями, місцями і структурами обліку в заданих часових інтервалах (3÷10, 30 хвилин, доба, декада, місяць, квартал, рік) щодо заданих лімітів, режимних і технологічних обмежень потужності, витрат, тиску й температури з метою економії енергоресурсів і забезпечення енергопостачання;
- фіксація відхилень контрольованих величин енергообліку та їхня оцінка в абсолютних і відносних одиницях з метою полегшення аналізу енергоспоживання;
- сигналізація відхилень контрольованих величин понад допустимий діапазон значень з метою прийняття оперативних рішень;
- прогнозування (коротко-, середньо- і довгострокове) значень величин енергообліку з метою планування енергоспоживання;
- автоматичне керування енергоспоживанням на основі заданих критеріїв і пріоритетних схем увімкнення/вимкнення споживачів-регуляторів з метою економії ручної праці й забезпечення якості керування;
- забезпечення внутрішнього госпрозрахунку за енергоресурси між цехами й підрозділами заводу з метою їх економії та раціональних витрат на робочих місцях;

– точний розрахунок із субабонентами підприємства за енергоспоживання з метою справедливого розподілу енерговитрат.

В результаті створення системи буде забезпечене:

- створення загального інформаційного простору для забезпечення комерційних інтересів всіх суб'єктів ОРЕ;
- підвищення оперативності управління режимами енергоспоживання;
- визначення і прогнозування всіх складових балансу енергії;
- автоматичний контроль технічного стану засобів обліку енергії.

Зниження втрат та витрат енергії і отримання додаткового прибутку за рахунок:

- підвищення точності і достовірності обліку енергії;
- зниження витрат на обслуговування і ремонт устаткування систем обліку за рахунок застосування сучасного високонадійного апаратного і програмного забезпечення;
- скорочення часу збирання і обробки даних, ухвалення оперативних управлінських рішень, інформаційну підтримку служб для підготовки рахунків для виконання взаєморозрахунків;
- оптимального використання основного устаткування (трансформатори, кабелі, комутаційне устаткування і т.п.) шляхом управління піками навантаження, статистичного аналізу, прогнозування, моделювання і планування енергоспоживання.

#### *Система обліку.*

В точках обліку на рівні 10 кВ встановлюються індукційні або цифрові лічильники різних типів, а також електронні інтелектуальні лічильники оснащені струмовим інтерфейсним виходом. Також встановлюються газові лічильники (газові коректори) з імпульсним або цифровим виходом для приєднання до системи АСКУЕ.

Розрахунок за отриману електроенергію здійснюється за тарифом з використанням графіка навантаження, одержуваного від енергосистеми (на підставі даних телемеханіки).

### *Система зв'язку з об'єктами контролю.*

Усі вимірювальні (а також обчислювальні) засоби й лінії зв'язку, які мають точнісні характеристики та впливають на точність обліку за наданою точкою обліку, називають вимірювальним каналом. Як правило, до каналу входять усі вимірювальні перетворювачі та канали зв'язку, в яких інформація передається у аналоговому вигляді, а також обчислювальні засоби, які впливають на точність передавання облікових даних (наприклад, при формуванні пакетів даних для передачі на інший рівень може бути змінена форма подання числа). У випадку комерційного обліку електроенергії кожна точка обліку має 2 канали, які відповідають наявності основного та дублюючого лічильника; похибка вимірювального каналу має апаратну та обчислювальну складові. При правильно обраних обчислювальних засобах, програмному забезпеченні, алгоритмах обчислювань та протоколах передавання даних програмна складова похибки обліку набагато менш за апаратну. При визначенні похибки обліку враховують точність вимірювань не тільки безпосередньо облікових величин, а також і точність прив'язки до часу, яку можуть виконувати не тільки цифровий перетворювач (лічильник), а окремий контролер (прилад обліку).

Нижній рівень систем обліку підключається до верхнього за допомогою ланцюгів імпульсних виходів або послідовними каналами зв'язку (RS-232, RS-485, струмова петля).

Середній рівень АСКОВ пов'язаний із верхнім рівнем каналом зв'язку, де можуть використовуватися фізичні провідні лінії зв'язку, виділені або комутовані телефонні канали, радіоканали, в тому числі супутникові та стільникові. До змісту поняття каналу зв'язку входять не тільки лінії зв'язку, а й устаткування зв'язку, що обслуговує ці лінії, іноді сукупність каналів зв'язку називають середовищем зв'язку. Передача даних по цих каналах здійснюється, як правило, з використанням стандартних інтерфейсів (інтерфейси типу RS-232, RS-485, ІРПС і т.п.) і відповідно стандартних (наприклад Modbus, IEC1107) або оригінальних (протоколи систем ІВСЕ4, СЕМ-1 і т.п.) протоколів обміну.

Між КТП підприємства та Кіровоградобленерго організовується виділений канал зв'язку з пропускною спроможністю більше 9600 біт/с.

Технічні засоби АСКУЕ повинні включати високоточні інтелектуальні лічильники електроенергії і комунікаційні модулі.

Підсистема верхнього рівня повинна включати в свій склад:

- сервер збору даних АСКУЕ;
- сервер бази даних АСКУЕ (основний і резервний);
- приймач системи єдиного часу (приймач GPS);
- маршрутизатор;
- АРМ адміністратора;
- АРМ'и користувачів;
- телекомунікаційне устаткування;
- джерело безперебійного живлення серверної стійки.

Технічні засоби підсистем нижнього рівня розміщуються безпосередньо на об'єктах контролю і повинні забезпечувати вимірювання і реєстрацію параметрів енергоспоживання і параметрів електроенергії, передачу зміряних параметрів в підсистему верхнього рівня і в суміжні АСКУЕ рівня підстанції. Технічні засоби підсистеми нижнього рівня повинні включати:

- основні лічильники електроенергії для приєднань 10 кВ;
- дублюючі лічильники електроенергії для приєднань 10 кВ;
- лічильники електроенергії для приєднань 0,4 кВ;
- комунікаційні модулі, що включають комунікаційний процесор, перетворювач інтерфейсу, телекомунікаційне устаткування, джерело живлення;
- кабельну систему.

Підсистеми нижнього рівня без доробки комунікаційного устаткування повинні забезпечувати розвиток в частині збільшення кількості контрольованих точок обліку.

Як канали зв'язку між підсистемами нижнього і верхнього рівнів повинні використовуватися:

- виділені канали ТЧ в 4-х дротяному закінченні;

- мережа GSM;
- корпоративна мережа (МТС або іншого оператора);
- комутовані канали ТЧ;
- система радіозв'язку.

Сервер БД АСКУЕ повинен виконувати наступні функції:

- автоматичний збір даних з лічильників;
- формування бази даних первинних (необроблених) даних;
- введення даних з лічильників, не охоплених системою автоматичного збору, зібраних з використанням переносного комп'ютера;
- верифікацію даних за допомогою порівняння свідчень основного і дублюючого лічильників;
- автоматичний контроль і корекцію годинника лічильників;
- накопичення і зберігання даних ручного введення;
- формування груп обліку;
- обробку інформації;
- накопичення і зберігання технологічної інформації (описи, параметри і т.п.) по кожній контрольованій точці, групі обліку і по поточній конфігурації системи;
- розмежування доступу до бази даних на основі повноважень користувача;
- забезпечення регламентованого доступу з боку сторонніх автоматизованих систем;
- накопичення і зберігання інформації по функціонуванню системи;
- ведення журналу подій системи.

Сервер БД повинен бути підключений до приймача системи єдиного часу і забезпечувати синхронізацію системного часу, комунікаційного процесора і внутрішнього годинника лічильників.

АРМи по обліку електроенергії повинні виконувати наступні функції:

- ручне введення інформації по обліку електроенергії;
- автоматизований облік роботи приєднань при перекладі на ОВ;
- ручне введення часу роботи приєднання на ОВ і автоматичний облік електроенергії пропущеної для приєднання, перемкненого на ОВ.

- відображення інформації по обліку електроенергії і по функціонуванню АСКУЕ на дисплеї в автоматичному режимі і по запиту оператора;
- документування інформації по обліку електроенергії на друкуючому пристрої по запиту оператора;
- надання призначеного для користувача інтерфейсу для організації взаємодії адміністратора з системою (в частині збору даних і статистики, діагностики і конфігурування АСКУЕ);
- обмеження доступу до АСКУЕ на основі системи паролів і протоколювання доступу і дій оператора по зміні конфігурації АСКУЕ.

Поштовий сервер (входить до складу системи функціонально) забезпечує обмін даними по виділених або комутованих каналах ТЧ зв'язку або по TCP/IP каналах. Обмін повинен здійснюватися у вигляді експорту/імпорту файлів в стандартному ASCII форматі і у вигляді SQL-запитів. Зацікавлені суб'єкти енергоринку повинні мати регламентований доступ до БД АСКУЕ.

Маршрутизатор повинен забезпечувати підключення телекомунікаційного устаткування, що має інтерфейс RS-232 до ЛВС.

Засоби телекомунікацій включають в свій склад модеми, термінали GSM і супутникового зв'язку і повинні забезпечувати надійне, достовірне і своєчасне транспортування даних між рівнями системи.

Комунікаційний модуль призначений для забезпечення інформаційного обміну лічильників електроенергії, встановлених на підстанціях з підсистемою верхнього рівня і з АСКУЕ енергопостачаючої організації.

АСКУЕ повинна забезпечувати безперервне функціонування в режимі періодичного опиту точок обліку. Система не повинна допускати втрати інформації при тимчасовому порушенні каналу зв'язку комунікаційного процесора з лічильником або серверу збору даних з об'єктом контролю.

Діагностика системи повинна виконуватися періодично у фоновому режимі. Діагностика окремих компонентів системи може проводитися також автономно з інженерного пульта.

Технічні засоби АСКУЕ нижнього рівня повинні встановлюватися:

|  |  |  |  |  |  |      |
|--|--|--|--|--|--|------|
|  |  |  |  |  |  | Арк. |
|  |  |  |  |  |  | 60   |

- в опалювальних приміщеннях ОПУ;
- в не опалювальних приміщеннях ОПУ;
- в приміщеннях ЗРУ;
- в приміщеннях чергового персоналу;
- в панелях КРУН;
- в шафах обліку, розташованих на КРП;
- на відкритому повітрі (КРП).

При установці в опалювальних приміщеннях і ЗРУ апаратура АСКУЕ повинна експлуатуватися при дії наступних кліматичних чинників:

температури навколишнього повітря від  $+5^{\circ}\text{C}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ ;  
 відносної вологості повітря не більше 95% при температурі  $+35^{\circ}\text{C}$ ;  
 атмосферного тиску від 84 до 106,7 кПа.

Апаратура повинна мати виконання не нижче IP20.

При установці в не опалювальних приміщеннях, панелях КРУН і шафах обліку апаратура АСКУЕ повинна експлуатуватися при дії наступних кліматичних чинників:

температури навколишнього повітря від  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $+70^{\circ}\text{C}$ ;  
 відносної вологості повітря не більше 95% без конденсації при температурі  $+35^{\circ}\text{C}$ ;  
 атмосферного тиску від 84 до 106,7 кПа.

Апаратура повинна мати виконання не нижче IP20.

При установці на відкритому повітрі апаратура АСКУЕ повинна експлуатуватися при дії наступних кліматичних чинників:

температури навколишнього повітря від  $-30^{\circ}\text{C}$  до  $+70^{\circ}\text{C}$ ;  
 відносної вологості повітря до 100% з конденсацією;  
 опадів і пилу;  
 атмосферного тиску від 84 до 106,7 кПа;  
 вітрового навантаження до 35 м/с.

Апаратура повинна мати виконання не нижче IP66.

Технічні засоби АСКУЕ верхнього рівня повинні встановлюватися в приміщеннях центрального офісу і експлуатуватися при дії наступних кліматичних чинників:

температури навколишнього повітря від +5°C до +35°C;

відносної вологості повітря не більше 95% при температурі +35°C;

атмосферного тиску від 84 до 106,7 кПа.

Сервер і маршрутизатор повинні підключатися через блок(и) безперебійного живлення.

Електроживлення лічильників електроенергії повинне здійснюватися від вторинних обмоток вимірювальних трансформаторів з параметрами робочої напруги і струму, визначеними технічними умовами на тип лічильника, що використовується. Лічильники електроенергії повинні мати можливість підключення резервного живлення (параметри резервного живлення визначаються на стадії проектування).

Технічне обслуговування АСКУЕ повинне включати щоденний контроль функціонування системи і відновлення її працездатності при несправностях і відмовах технічних і програмних засобів.

Відновлення працездатності АСКУЕ повинне проводитися обслуговуючим персоналом шляхом заміни блоків і приладів з складу ЗІП (запасних частин, інструментів і обладнань) і (або) шляхом встановлення компонентів заново ПО і відновлення бази даних (по резервних копіях).

Системи контролю й обліку енергоресурсів у загальному випадку містять три рівні:

*нижній рівень* – вимірювальні перетворювачі – ВП (датчики, лічильники) з телеметричними виходами або цифровими інтерфейсами, що здійснюють безупинно або з мінімальним інтервалом усереднення вимір параметрів енергообліку споживачів (витрати, потужність, тиск, температуру, кількість енергоносіїв, кількість теплоти з енергоносієм) у місцях обліку (фідер, труба); облік електроенергії виконує лічильник;

*середній рівень* – контролери (спеціалізовані вимірювальні системи або багатофункціональні програмовані перетворювачі) з програмним забезпеченням з енергообліку, що здійснюють у заданому циклі інтервалу усереднення цілодобовий збір вимірювальних даних з територіально розподілених ВП, накопичення, обробку й передачу цих даних на верхній рівень; для обліку електроенергії на середньому рівні використовують прилади обліку, для технічного обліку використовують також КП телемеханіки з входами телевимірів інтегральних (ТВІ), до яких підключають телеметричні (імпульсні) виходи лічильників;

*верхній рівень* – персональний комп'ютер (ПК) або комп'ютерна мережа зі спеціалізованим програмним забезпеченням, що здійснює збір інформації з контролера (або групи контролерів) середнього рівня, підсумкову обробку цієї інформації як у місцях обліку, так і в їхніх групах - у підрозділах і об'єктах підприємства, відображення й документування даних обліку у вигляді, зручному для аналізу й прийняття рішень (керування) оперативним персоналом служби головного енергетика й керівництвом підприємства.

#### *Функції підсистеми нижнього рівня*

Лічильники електроенергії:

- автоматичний контроль надходження (відпустки) електроенергії по точках обліку,
- фіксація графіка навантаження;
- вимірювання параметрів мережі:
  - фазна напруга;
  - фазні струми;
  - фазна і загальна потужність;
  - коефіцієнт навантаження;
  - частота.

Комунікаційний процесор і телекомунікаційне устаткування:

- організація збору інформації з лічильників і накопичення даних в базі даних;
- синхронізація часу лічильників;

- забезпечення прямого доступу до лічильників з боку серверу збору даних;
- забезпечення обмінів з сервером збору даних і лічильниками електроенергії по основному (резервному) каналу зв'язку;
- забезпечення обмінів між АСКУЕ підстанції (тільки для п/ст 150 кВ) і комунікаційним процесором по протоколу розробника;
- узгодження швидкості передачі лічильників і каналу даних;
- забезпечення достовірності переданої інформації по каналу зв'язку.

#### *Функції підсистеми верхнього рівня:*

- автоматичний збір інформації:
- періодичне зчитування параметрів контролю з лічильників і накопичення їх в базі даних первинних параметрів (максимальний час зчитування інформації по кожному об'єкту не більше 10 хвилин);
- синхронізація системного часу з використанням пристрою еталонного часу GPS;
- накопичення, зберігання інформації і розрахунків вторинних параметрів:
- накопичення і зберігання інформації по кожній точці обліку;
- зберігання інформації по конфігурації системи;
- накопичення і зберігання параметрів і інформації введеної в ручну;
- накопичення інформації по функціонуванню системи;
- зберігання добових параметрів обліку в базі даних не менше 45 діб, місячної – не менше 5 років з можливістю архівації інформації на зовнішньому носії;
- контроль за дотриманням обмежень і лімітів;
- розрахунків вторинних параметрів (груп, балансів, втрат, лімітів і ін.);
- підготовку і надання інформації по запитах користувачів;
- надання доступу до БД з розмежуванням прав;
- архівація інформації.

На АРМ системи повинно встановлюється уніфіковане ПО. Обсяг задач, виконуваних на конкретному АРМ, визначається повноваженнями конкретного користувача і встановлюється адміністратором системи.

### *Вимоги до програмного забезпечення*

Програмне забезпечення (ПО) системи повинне складатися з наступних частин:

- операційна система і засоби, що розширюють її можливості;
- прикладне програмне забезпечення;
- спеціальне програмне забезпечення.

Структура ПО повинна відповідати структурі АСКУЕ і включати:

- ПО серверу бази даних АСКУЕ;
- ПО АРМ.

ПО АРМ повинне бути уніфіковане, функції конкретного АРМ повинні настраюватися при конфігуруванні системи. Прикладне ПО АРМ АСКУЕ повинне забезпечувати можливість організації необхідної кількості робочих місць користувача АСКУЕ з установкою на ПЕВМ замовника.

Спеціальне програмне забезпечення повинне реалізовувати наступні функції:

- регламентацію доступу до задач і даних (парольний захист, розмежування доступу, захист від несанкціонованого стирання або зміни);
- збереження даних шляхом копіювання в архів і відновлення з архіву;
- діагностику (тестування) цілісності і працездатності програмно-технічних засобів системи.

ПО системи повинне підтримувати стандартні програмні інтерфейси обміну інформацією:

- інтерфейс з SQL базами даних;
- інтерфейс мережного обміну по протоколах TCP/IP, NetBIOS.

### **10.2. Розробка системи комерційного та технічного обліку і контролю електроспоживання**

Розрахунковим обліком електроенергії називається облік виробленої, а також відпущеної споживачам електроенергії для грошового розрахунку за неї.

Лічильники, що встановлюються для ведення розрахункового обліку називаються розрахунковими лічильниками.

Технічним обліком електроенергії називається облік для контролю витрати електроенергії всередині електростанцій, підстанцій, підприємств, в приміщеннях, квартирах і т.д. Лічильники, встановлені для технічного обліку називаються лічильниками технічного обліку.

Лічильники для розрахунку енергопостачальної організації з споживачами електроенергії рекомендується встановлювати на границі розподілу мережі (за балансною приналежністю) енергопостачальної організації і споживача. На підстанціях енергосистеми розрахункові лічильники активної енергії повинні встановлюватись на кожній ЛЕП, що належить споживачам.

Для підприємств, що розраховуються з енергопостачальною організацією по максимуму заявленої потужності, слід передбачати встановлення лічильників з вказувачем максимуму навантаження при наявності одного пункту обліку, а при наявності двох і більше пунктів обліку - застосування автоматизованих систем обліку електроенергії.

Лічильники реактивної енергії повинні встановлюватись на тих же елементах схеми, на яких встановлені лічильники активної енергії для споживачів, що розраховуються за електроенергію з урахуванням дозволеної до використання реактивної потужності. Для підприємств, що розраховуються з енергопостачаючою організацією по максимуму дозволеної реактивної потужності, слід передбачувати встановлення лічильників з вказівником максимуму навантаження, при наявності двох і більше точок обліку - застосування комплексної системи обліку електроенергії.

Допускається встановлення лічильників технічного обліку на вводі підприємства, якщо розрахунковий облік з цим підприємством ведеться за лічильниками, встановленими на підстанціях та електростанціях енергосистеми.

Лічильники електричної енергії повинні відповідати діючим нормативним документам і бути, як правило, електронними, трьохелементними, багатофункціональними і забезпечувати:

- облік активної і реактивної електричної енергії в прямому і зворотному напрямках;
- виміряти активну, реактивну і повну потужність;
- виміряти напругу, струм, потужність по кожній фазі і частоту (у разі потреби);
- виконувати зовнішню синхронізацію ходу внутрішнього таймера;
- виконувати автоматичний перехід на літній і зимовий час;
- формувати графіки навантаження з періодом інтеграції, яка забезпечує вимоги ОРЕ;
- періоди інтеграції величин, що вимірюються, 30 (60) хвилин;
- формувати базу первинних даних результатів обліку з обов'язковою прив'язкою величин, що вимірюються, до відповідних відміток часу (первинна база даних). Первинна база даних повинна містити графік навантаження не менше ніж 1.5 розрахункових періоди (розрахунковий період - місяць) при періоді інтеграції 30 хвилин. Первинна база даних повинна зберігатися в енергозалежній пам'яті і не повинна допускати змін, доповнень і корекції;
- при відключенні живлення збереження в енергозалежній пам'яті на протязі не менше одного року інформації про величини, які вимірюються, випадки доступу до режимів параметризування лічильника і про позаштатні ситуації;
- індикацію зміряних параметрів при відключенні живлення;
- роботу внутрішнього таймера і ведення календаря при зникненні живлення на протязі не менше одного року.

Лічильники повинні мати послідовні інтерфейси і імпульсні виходи типу "сухий контакт". Протокол обміну даними за послідовним інтерфейсом повинен виконуватися в стандартах DLMS і МЭК1107.

Комерційний облік встановлюємо на межі балансової належності підприємства та енергосистеми на відхідних комірках КРП-10 підстанції енергосистеми 150/35/10 кВ.

Для комерційного обліку електроенергії передбачається встановлення багатофункціональних лічильників серії "Альфа", які призначені для обліку активної та реактивної енергії в ланцюгах змінного струму, а також для

використання в складі автоматизованих систем контролю та обліку електроенергії, для передачі вимірюваних та розрахованих параметрів на диспетчерський пункт по контролю, обліку та розподілу електричної енергії.

Даний лічильник забезпечує вимірювання одночасно активної і реактивної енергії та максимальної потужності в класах точності 0,2 і 0,5 при напругах 100, 220 і 380 В трансформаторного та прямого включення при номінальних струмах 1, 5, 40 та 100 А в 4-х тарифних зонах в 3-х провідних та 4-х провідних мережах.

З допомогою встановлення додаткових плат можна вимірювати активну та реактивну енергії та максимальну потужність в обох напрямках, реле керування споживанням електроенергії, записувати та зберігати графік електроспоживання, включати лічильники в комплексні системи обліку електроенергії.

Оскільки в даному проєкті проводимо комерційний облік активної і реактивної електроенергії в одному напрямку та максимальне активне і реактивне навантаження в класі точності 0,5 в 3-хпроводній мережі при трансформаторному включенні з зняттям графіка електричного навантаження, то приймаємо лічильник типу AV05-RA-B-3.

Для проведення технічного обліку в мережі 10 кВ приймаємо лічильники системи Меркурій 230 для контролю за споживання активної енергії та реактивної енергії.

В мережах 380/220 В споживачів використовуємо лічильники типу СА 4–5001 та СР 4 – 5002.

Для формування зв'язку між рівнями АСКУЕ та комутації обладнання використовуємо комунікаційний процесор.

#### *Призначення АСКОЕ "Пульсар"*

Системи вимірювальні автоматизовані контролю та обліку енергоресурсів "Пульсар" (далі - СВ) призначені для автоматизованого комерційного і технологічного обліку споживання холодної та гарячої води, газу, електроенергії, теплової енергії, інших ресурсів, у тому числі багатотарифного обліку споживання енергоресурсів, реєстрації параметрів тепlopостачання; для збору,

накопичення, обробки, відображення та передачі інформації про споживання енергоресурсів в диспетчерські та розрахункові центри.

СВ забезпечує: автоматизований збір і передачу на персональний комп'ютер диспетчера інформації про споживання води, газу, електроенергії, теплової енергії; ведення бази даних на ПК з можливістю друку звітів, протоколів, рахунків; контроль ліній зв'язку з лічильниками енергоресурсів.

СВ реалізує енергонезалежний режим роботи частини системи, що забезпечує збір даних з первинних датчиків, надає широкі можливості по організації інформаційної мережі.

#### *Функції АСКОВ "Пульсар"*

- ведення бази даних споживання ресурсів на ПК;
- підготовка аналітичної інформації, звітів, протоколів, графіків для подальшого друку;
- виписка рахунків абонентам для оплати спожитих енергоресурсів;
- інформування споживачів про стан оплати і споживанні ресурсів;
- зведення внутрішньооб'єктного балансу надходження та споживання енергоресурсів з метою виявлення місць несанкціонованого споживання;
- видача даних і обмін аналітичною інформацією між структурами ЖКГ та енергопостачальних організацій;
- коректування внутрішнього годинника лічильників імпульсів - реєстраторів і лічильників енергоресурсів з цифровим виходом;
- багатотарифний облік енергоресурсів;
- контроль ліній зв'язку з лічильниками енергоресурсів;
- захист інформації від несанкціонованого доступу.

#### *Склад системи і основні функції її компонентів*

Системи "Пульсар" відносяться до проектно-компонованих виробам і їх вимірювальні канали (ВК) містять основні компоненти з числа таких:

- 1) первинні лічильники енергоресурсів, оснащені імпульсним телеметричним або цифровим виходом.

2) лічильники імпульсів - реєстратори «Пульсар» - вторинні прилади, до кожного з яких підключаються до двадцяти чотирьох первинних лічильників з імпульсним виходом.

Лічильники імпульсів-реєстратори «Пульсар» використовуються для

- Накопичення числої імпульсної інформації з первинних лічильників з прив'язкою її до астрономічного часу,
- Ведення однотарифного або двотарифного обліку електроенергії з використанням однотарифних електролічильників,
- Передачі даних в цифровому форматі в інформаційну мережу з використанням стандарту RS485;

3) пристрої збору та передачі даних (ПЗПД), що забезпечують зчитування, обробку, зберігання та передачу на верхній рівень даних з лічильників імпульсів - реєстраторів "Пульсар" і лічильників енергоресурсів з цифровим виходом, а також синхронізацію роботи приладів обліку;

4) додаткові пристрої, що забезпечують посилення сигналу при передачі цифрової інформації в мережі, адаптери, що перетворюють цифровий сигнал, а також блоки живлення;

5) персональний комп'ютер типу IBM PC в якості автоматизованого робочого місця (АРМ).

Інформаційна взаємодія здійснюється з використанням відкритих промислових протоколів передачі даних, що дозволяє вбудовувати систему "Пульсар" в системи верхнього рівня.

#### *Загальна організація системи*

Лічильники імпульсів - реєстратори і лічильники енергоресурсів з цифровим виходом об'єднуються в мережу RS485 і / або CAN. Таким чином, організовується деревоподібна, зіркоподібна або будь-яка інша структура. Для здійснення інформаційного обміну необхідно подати живлення на реєстратори імпульсів і лічильники з цифровим виходом.

У випадку, якщо довжина дроти від самого далекого лічильника реєстратора до конвертера RS232 / 485 перевищує 1200 м використовується один

або кілька ретрансляторів 485/485. При цьому необхідно дотримуватися умови: довжина лінії зв'язку між двома ретрансляторами не повинна перевищувати 1200 м, довжина лінії зв'язку між ретранслятором і найдальших лічильником - реєстратором не повинна перевищувати 1200 м.

У випадку, якщо мережа складається більш ніж з 128 лічильників - реєстраторів також використовується ретранслятор 485/485. При цьому необхідно дотримуватися умови: до одного (з двох) входу ретранслятора підключається не більше 127 пристроїв (лічильників-реєстраторів, ретрансляторів 485/485, конвертерів 485/232).

Мережа реєстраторів і лічильників підключається до ПЗПД або безпосередньо до АРМ. У разі використання ПЗПД відбувається інформаційний обмін між ПЗПД і АРМ або системою верхнього рівня. При підключенні мережі до ПЗПД, АРМ, підключенні АРМ до ПЗПД використовуються перетворювачі цифрових інтерфейсів RS485 / RS232, CAN / USB, Ethernet / RS232 та ін., А також мережеве обладнання Ethernet, що виступають в якості сполучних і допоміжних компонентів.

Ініціатором обміну є ПЗПД, або комп'ютер, який використовується як АРМ, з'єднаний з мережею за допомогою конвертера 232/485. Для того, щоб передати запит і-му лічильнику - реєстратору або лічильнику з цифровим виходом ПЗПД формує пакет, що містить унікальну адресу лічильника - реєстратора (лічильника з цифровим виходом), якому спрямований цей запит. Після отримання цього запиту тільки опитуваний лічильник - реєстратор (лічильник з цифровим виходом) починає передачу. Після того, як і-ой лічильник - реєстратор (лічильник з цифровим виходом) передав дані відповідно до запиту комп'ютера, комп'ютер формує запит j-му лічильнику - реєстратору (лічильнику з цифровим виходом).

Таким чином, проходить послідовне опитування лічильників - реєстраторів (лічильників з цифровим виходом), що входять до складу мережі. При необхідності, ПЗПД може опитати не всю мережу, а тільки один лічильник - реєстратор (лічильник з цифровим виходом) з мережі.

Опитування лічильників імпульсів - реєстраторів, а також лічильників з цифровим виходом можливий тільки у разі наявності зовнішнього живлячої напруги інтерфейсної частини.

Однак, лічильники імпульсів - реєстратори продовжують виконувати свою основну функцію - реєстрацію інформації про споживання ресурсів і в разі відсутності зовнішньої напруги живлення.

#### Основні технічні характеристики АСКОЕ "Пульсар"

|                                                                                          |                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Максимальна кількість в мережі лічильників імпульсів реєстраторів "Пульсар"              | не обмежена                             |
| Довжина ліній зв'язку між лічильниками імпульсів - реєстраторами                         | не має обмежень                         |
| Довжина проводу від лічильника з імпульсним виходом до лічильника імпульсов- реєстратора | до 1000 м                               |
| Ємність архіву лічильника імпульсів -реєстратора                                         | 1080 годин, 180 діб, 24 місяці          |
| Напрацювання на відмову                                                                  | 100000 годин                            |
| Живлення лічильників імпульсів - реєстраторів                                            | літієва батарея, працездатність 6 років |
| Межа відносної похибки вимірювання кількості імпульсів                                   | 0,1%                                    |
| Точність ходу внутрішнього годинника                                                     | 0,01%                                   |

### 10.3. Вибір трансформаторів струму та напруги для забезпечення обліку електричної енергії

#### *Вимоги до вимірювальних трансформаторів струму і напруги*

Клас точності вимірювальних трансформаторів струму і напруги для приєднання лічильників комерційного обліку електричної енергії повинен бути не більше 0,5. Величина падіння напруги у вимірювальних ланцюгах трансформаторів напруги не повинна перевищувати 0,25 В для трансформаторів класу точності 0,5.

Номінальний струм вторинної обмотки 5 А, інколи 1 А. Оскільки опір обмоток приладів, підключених до трансформатора струму, незначний, трансформатор працює в режимі, близькому до короткого замикання.

### Вибір трансформаторів струму.

Трансформатори струму обираємо за методикою, що змістовно викладена в [4]. Двохелементні лічильники типу "Альфа" AV05-RA-B-3 передбачають трансформаторне включення в трьохпровідну трьохфазну систему. Трансформатори струму включено в фази А і С. Схеми підключення прийнятих типів лічильників приведені на рис. 10.3.1.

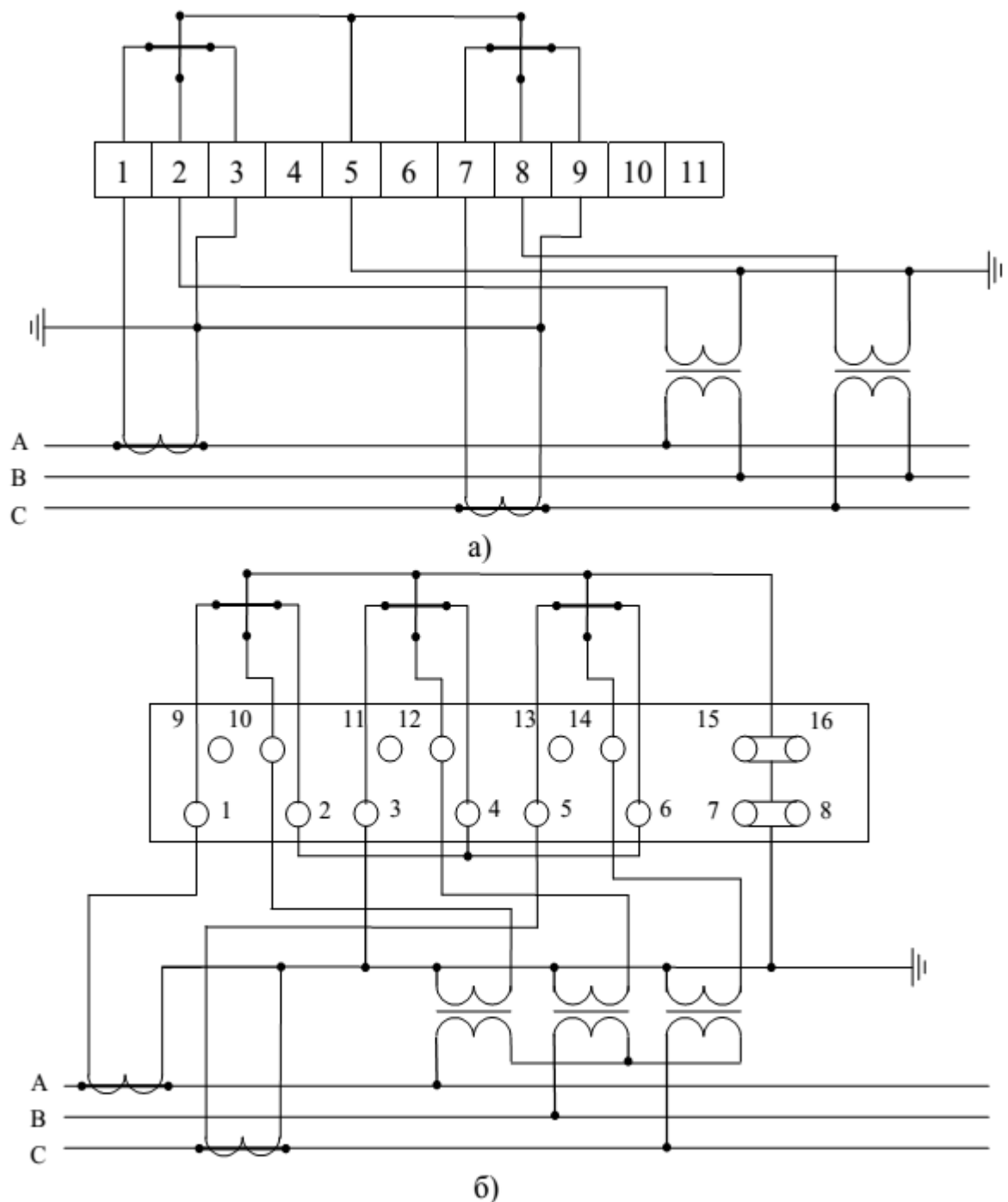


Рис. 10.3.1. Трансформаторні схеми включення лічильників  
а) типу AV05-RA-B-3; б) типу Меркурій 230 AR-00.

Вторинне навантаження трансформаторів струму знаходяться за формулою:

$$Z_2 = Z_{\text{прил.}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к}}$$

де  $Z_{\text{прил}}$  – опір приладів, підключених до вторинної обмотки;

$R_{\text{к}}$  – опір контактів, приймаємо що  $R_{\text{к}} = 0,1 \text{ Ом}$

$$R_{\text{пров}} = \rho \cdot \frac{l_{\text{розр}}}{F} = 0,027 \cdot \frac{6}{2,5} = 0,065 \text{ Ом}$$

де  $\rho = 0,027 \text{ ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$  – питомий опір алюмінієвого проводу;

$l_{\text{розр}} = l = 6 \text{ м}$  – розрахункова довжина проводу при з'єднанні трансформаторів струму в неповну зірку;

$F = 2,5 \text{ мм}^2$  – перетин з'єднуючих проводів.

Розрахунок навантаження трансформаторів струму ввідних шаф проведений у вигляді табл. 10.3.1.

Таблиця 10.3.1. Вторинне навантаження трансформатора струму ввідних шаф

| Найменування приладу   | Тип приладу | Навантаження фаз |     |     |
|------------------------|-------------|------------------|-----|-----|
|                        |             | А                | В   | С   |
| Амперметр              | Э-377       | 0,1              | -   | -   |
| Лічильник типу “Альфа” | AV05-RA-B-3 | 3,6              | 3,6 | 3,6 |
|                        | Всього      | 3,7              | 3,6 | 3,6 |

Опір приєднаних приладів ввідних трансформаторів струму:

$$Z_{\text{прил}} = \frac{S_{\text{прил}}}{I_{2\text{н}}^2} = \frac{3,7}{5^2} = 0,148 \text{ Ом.}$$

Вторинне навантаження ввідних трансформаторів струму:

$$Z_2 = Z_{\text{прил.}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к}} = 0,148 + 0,1 + 0,065 = 0,313 \text{ Ом.}$$

Розрахунок навантаження трансформаторів струму на лініях, що відходять проведений у вигляді табл. 10.3.2.

Опір приєднаних приладів на лініях, що відходять та опір проводів:

$$Z_{\text{прил}} = \frac{S_{\text{прил}}}{I_{2\text{н}}^2} = \frac{1,2}{5^2} = 0,048 \text{ Ом} \quad R_{\text{пров}} = \rho \cdot \frac{l_{\text{розр}}}{F} = 0,027 \cdot \frac{10,39}{2,5} = 0,112 \text{ Ом}$$

де  $l_{\text{розр}} = \sqrt{3} \cdot l = \sqrt{3} \cdot 6 = 10,39 \text{ м}$  – розрахункова довжина проводу при з'єднанні трансформаторів струму в неповну зірку.

Таблиця 10.3.2. Вторинне навантаження трансформатора струму на лініях, що відходять

| Найменування приладу   | Тип приладу | Навантаження фаз |   |     |
|------------------------|-------------|------------------|---|-----|
|                        |             | А                | В | С   |
| Амперметр              | Э-377       | 0,1              | - | -   |
| Ватметр                | Д365        | 0,5              | - | 0,5 |
| Варметр                | Д365        | 0,5              | - | 0,5 |
| Лічильник Меркурій 230 | AR-00       | 0,1              | - | 0,1 |
| Всього                 |             | 1,2              |   | 1,1 |

Вторинне навантаження трансформаторів струму на лініях, що відходять:

$$Z_2 = Z_{\text{прил.}} + R_{\text{пров}} + R_k = 0,048 + 0,1 + 0,112 = 0,26 \text{ Ом}$$

Вибираємо в якості трансформаторів струму трансформатори типу ТПЛК-10. Вибір трансформаторів струму на вводах проведений у вигляді табл. 10.3.3; для лінії, що відходять від ЦРП до ТП у табл. 10.3.4.

Таблиця 10.3.3. Вибір трансформаторів струму на вводах

| Умови вибору                | Перевірка умов    |
|-----------------------------|-------------------|
| $U_{\text{уст}} \leq U_N$   | 10 кВ = 10 кВ     |
| $I_{\text{роб.ф}} \leq I_N$ | 324,79 А < 400 А  |
| $Z_2 < Z_{2\text{ном}}$     | 0,313 Ом < 0,4 Ом |

Таблиця 10.3.4. Вибір трансформаторів струму для лінії, що відходять від ЦРП до ТП

| Умови вибору                | Перевірка умов   |
|-----------------------------|------------------|
| $U_{\text{уст}} \leq U_N$   | 10 кВ = 10 кВ    |
| $I_{\text{роб.ф}} \leq I_N$ | 52,2 А < 75 А    |
| $Z_2 < Z_{2\text{ном}}$     | 0,26 Ом < 0,4 Ом |

### Вибір трансформатора напруги (ТН)

Вибір трансформаторів напруги (ТН) здійснюється за номінальною напругою, класом точності, вторинним навантаженням та конструктивним виконанням. За умов побудови схеми електропостачання вони підлягають встановленню на кожній секції збірних шин. У мережах із ізольованою нейтраллю традиційно застосовуються трифазні ТН типу НАМИТ або групи з трьох

однофазних трансформаторів серії НОМ. Для реалізації в даному проєкті прийнято трансформатори напруги типу НАМИТ-10.

Розрахунок вторинного навантаження ТН проведений в табл. 10.3.5.

Таблиця 10.3.5. Розрахунок вторинного навантаження трансформатора напруги

| Найменування приладу   | Тип приладу | Кількість | Кількість обмоток | $S_{обм.}$ | $\cos \varphi$ | $\sin \varphi$ | P, Вт  | Q, вар |
|------------------------|-------------|-----------|-------------------|------------|----------------|----------------|--------|--------|
| Вольтметр              | Э-377       | 1         | 1                 | 2          | 1              | 0              | 2      | 0      |
| Лічильник “Альфа”      | AV05-RA-B-3 | 1         | 2                 | 1,8        | 0,92           | 0,39           | 3,312  | 1,404  |
| Ватметр                | Д365        | 4         | 2                 | 1,5        | 1              | 0              | 12     | 0      |
| Варметр                | Д365        | 5         | 2                 | 1,5        | 1              | 0              | 15     | 0      |
| Лічильник Меркурій 230 | AR-00       | 5         | 2                 | 7,5        | 0,067          | 0,998          | 5,025  | 74,85  |
| Всього                 |             |           |                   |            |                |                | 37,337 | 76,254 |

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{37,337^2 + 76,254^2} = 84,9 \text{ ВА},$$

$$S_{2н} = 120 \text{ ВА} \quad S_{2н} > S_{2\Sigma}; \quad 120 \text{ ВА} > 84,9 \text{ ВА}.$$

Вибраний трансформатор напруги працює в класі точності 0,5.

Площі перетину проводів у колах трансформатора напруги визначаються по припустимій втраті напруги. При цьому втрата напруги від трансформатора напруги до розрахункових лічильників повинна бути не більш 0,5%, а до щитових приладів – не більш 1,5% при нормальному навантаженні.

#### 10.4. Вибір обладнання для обліку природнього газу

Вибір газового лічильника вимагає правильного підходу, тому що від цього залежить:

- точність обліку витрати;
- вартість устаткування;
- термін експлуатації.

При виборі лічильника варто визначити тип лічильника і типорозмір. Для визначення типу лічильника необхідно врахувати:

- максимальна і мінімальна витрата газу;
- максимальний і мінімальний тиск газу.

Лічильники різних типів мають різні межі виміру по максимальній і мінімальній витраті газу. Для визначення типу лічильника необхідно керуватися технічними характеристиками лічильників газу. Основою для визначення типорозміру лічильника служить закон Бойля-Мариотта для ідеального газу:

$$\frac{P_{\text{абс}} V}{T} = \text{const}$$

де  $P_{\text{абс}} = P_{\text{над}} + P_{\text{атм}}$ ,  $T = T^{\circ}\text{C} + 273$ ,

для реального газу:

$$\frac{P_{\text{абс}} V}{ZT} = \text{const}$$

де  $Z$  – коефіцієнт стискальності реального газу.

Відповідно

$$\frac{PV}{ZT} = \frac{P_{\text{cy}} V_{\text{cy}}}{Z_{\text{cy}} T_{\text{cy}}}$$

де  $V$  – обсяг при робочих умовах;

$P$  – абсолютний тиск при робочих умовах;

$T$  – температура при робочих умовах;

$Z$  – коефіцієнт стискальності газу при робочих умовах;

$V_{\text{cy}}$  – обсяг при стандартних умовах;

$P_{\text{cy}}$  – абсолютний тиск при стандартних умовах 0.0980665 МПа;

$T_{\text{cy}}$  – температура при стандартних умовах ( $20^{\circ}\text{C} + 273\text{K} = 293$ );

$Z_{\text{cy}}$  – коефіцієнт стискальності газу при стандартних умовах.

Приймаючи  $Z/Z_{\text{cy}} = 1$ ,  $T/T_{\text{cy}} = 1$  і  $P_{\text{cy}} = 1$ , одержуємо

$$V_{\text{cy}} = P \cdot V$$

Перейшовши від обсягів  $V$  і  $V_{\text{cy}}$  л витратам  $Q$  і  $Q_{\text{cy}}$

$$Q_{\text{cy}} = Q \cdot P, Q = Q_{\text{cy}} \cdot P$$

При підборі газового лічильника також рекомендується враховувати коливання витрати газу (імпульсивність роботи газового устаткування), при

частих змінах витрати найбільш прийнятний лічильник роторного типу DELTA або GMS якщо ж коливання витрати незначні, то краще віддати перевагу турбінним лічильникам TZ/Fluxi.

*Обчислення максимального об'єму природного газу, що споживається.*

На підприємстві споживачем природного газу є лише опалювальні котли. З паспортних даних визначаємо максимальне споживання природного газу при номінальній потужності  $V_{\text{ном}} = 1161 \text{ м}^3/\text{год}$ .

Максимальне споживання природного газу підприємством:

$$V_{\text{max}} = N \cdot V_{\text{ном}} = 2 \cdot 1161 = 2322 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Обираємо лічильник для комерційного обліку ІРВИС-РС4-Ультра. Технічні характеристики:

|                                                              |                                                                                                                                                  |
|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Робочий газ                                                  | природний газ, побіжний нафтовий газ, повітря, азот, інші гази                                                                                   |
| Похибка обмірюваного обсягу приведенного до стандартних умов | не більш $\pm 1\%$ при $Q_{\text{пер}} \dots Q_{\text{найб}}$<br>не більш $(1 + 6Q_{\text{пер}}/Q)\%$ при $Q_{\text{найм}} \dots Q_{\text{пер}}$ |
| Діаметри умовного проходу                                    | 50 мм                                                                                                                                            |
| Тиск вимірюваного газу (абс.)                                | від 0,05 до 1,6 МПа                                                                                                                              |
| Температура вимірюваного газу                                | від -40 до +45°C                                                                                                                                 |
| Інтервал повірки                                             | 2 роки                                                                                                                                           |

*Первинний перетворювач.*

Первинний перетворювач являє собою відрізок трубопроводу спеціальної форми, оптимізуючий потік, у якому встановлений ультразвуковий витратомір, первинний перетворювач тиску, первинний перетворювач температури, плата обчислювача. Первинний перетворювач абсолютного тиску, термокомпенсований у всьому діапазоні робочих температур.

Первинний перетворювач температури – термоопір платиновий.

Плата обчислювача по трьох обмірюваних сигналах визначає поточну об'ємну витрату, приведена до стандартних умов, накопичує в енергонезалежній пам'яті наростаючим підсумком значення минулого обсягу газу. Інформація про вимірювані параметри і накопичений обсяг газу з первинного перетворювача передається по цифровій лінії зв'язку на спеціалізований реєстратор - "БІП" (блок інтерфейсу і живлення).

Обираємо первинний перетворювач Ду-150.

Технічні характеристики:

| Кгс/см <sup>2</sup> | Ду-150                                   |                                          |
|---------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|
|                     | Q <sub>найм</sub> , НМ <sup>3</sup> /ГОД | Q <sub>найб</sub> , НМ <sup>3</sup> /ГОД |
| 0,001               | 49                                       | 2800                                     |

### *Реєстратор.*

Реєстратор веде архівацію вимірюваних параметрів (глибина архіву 120 діб), формує звітну відомість, забезпечує живлення первинного перетворювача по іскробезпечним електричним ланцюгам.

До реєстратора можливо підключити до чотирьох первинних перетворювачів.

Знімання інформації з реєстратора можливе декількома способами:

- Для оперативного контролю, реєстратор укомплектований РКІ індикатором, що відображає поточні вимірювані параметри, накопичений обсяг газу й ін. параметри роботи приладу.
- Підключення принтера до стандартного LPT портів і роздруківка на паперовий носій.
- Перенос інформації на персональний комп'ютер за допомогою FLASH-карти, що входить у базовий комплект постачання.
- Передача на АСУ через стандартний цифровий інтерфейс RS-232 і 485.

До реєстратора можливо одночасно підключити дві незалежні системи телеметрії. Наприклад, споживача і постачальника газу. Для виключення додаткової похибки, викликані зміною складу робочого газу, реалізована можливість зміни складу газу внесеного в пам'ять приладу.

### **10.5. Визначення основної похибки вимірювального каналу**

Визначаємо похибку вимірювального каналу КО1, що фіксує надходження енергії на об'єкт. Через вимірювальний канал проходить навантаження  $P = 2809$  кВт та  $Q = 136$  кВАр. На приєднанні встановлений трансформатор струму з первинним номінальним струмом  $I_n = 300$  А.

Вибираємо систематичну  $\Delta_I$  та випадкову  $\delta_I$  похибку в залежності від коефіцієнту завантаження трансформатора струму з таблиці [4].

За даними попередніх розрахунків  $k_3$  складає 0,7 А.

$$\Delta_I = -1,0625 + 1,5625 \cdot k_3 = -1,0625 + 1,5625 \cdot 0,75 = 0,106,$$

$$\delta_I = \pm(1,0 - 1,25 \cdot k_3) = (0,8125 - 0,3125 \cdot 0,75) = 0,579.$$

Визначаємо систематичну  $\Delta_U$  та випадкову  $\delta_U$  похибку в залежності від коефіцієнту завантаження трансформатора напруги:

$$\Delta_U = 0,5 - k_{3U} = 0,5 - 0,38 = 0,12,$$

$$\delta_U = -0,73 \cdot k_{3U} + 0,35 = -0,73 \cdot 0,38 + 0,35 = 0,0764.$$

Додаткова систематична похибка обумовлену впливом кутової похибки ТС та ТН. Співвідношення систематичних складових кутових похибок ТС та ТН:

$$\Delta\theta = \Delta\theta_U - \Delta\theta_I = 2,4 - (-3,18) = 5,58,$$

$$\Delta\theta_U = \Delta_U \cdot 20 \text{ хв} = 0,12 \cdot 20 \text{ хв.} = 2,4 \text{ хв.}$$

$$\Delta\theta_I = \Delta_I \cdot 30 \text{ хв} = -0,106 \cdot 30 \text{ хв} = -3,18 \text{ хв.}$$

$$\Delta_\theta = 0,0291 \cdot \Delta\theta \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi} = 0,0291 \cdot (5,58) \sqrt{(1-1)/1} = 0.$$

Додаткова випадкова похибка обумовлена впливом кутової похибки ТС та ТН. Співвідношення випадкових складових кутових похибок ТС та ТН:

$$\delta\theta_U = \delta_U \cdot 20 \text{ хв} = 0,0764 \cdot 20 \text{ хв.} = 1,528 \text{ хв.}$$

$$\delta\theta_I = \delta_I \cdot 30 \text{ хв} = 0,579 \cdot 30 \text{ хв} = 17,37 \text{ хв.}$$

$$\delta_\theta = 0,018 \sqrt{\delta\theta_U^2 + \delta\theta_I^2} = 0,018 \sqrt{1,528^2 + 34,74^2} = 0,626.$$

Похибки, обумовлена втратою напруга у вторинному ланцюзі ТН:

$$\Delta_{U2} = (-0,5 \cdot KT)/2 = -0,125,$$

$$\delta_{U2} = -0,125.$$

Для лічильників електронного типу систематична та випадкова похибки наближено можуть бути прийняті:

$$\Delta_{лч} = 0; \delta_{лч} = KT = 0,5.$$

Розрахунок похибки для інших вимірювальних каналів приведений в табл. 10.5.1 - 10.5.2.

|  |  |  |  |  |  |      |
|--|--|--|--|--|--|------|
|  |  |  |  |  |  | Арк. |
|  |  |  |  |  |  | 80   |

Таблиця 10.5.1. Елементи вимірювального каналу

| Номер в системі обліку | Марка ТС      | Марка ТН       | Марка лічильника |
|------------------------|---------------|----------------|------------------|
| КО1                    | ТЛК-10/300 У1 | НАМИТ-10-66-У3 | AV05-РА-В-3      |
| ТО1                    | ТЛК-10/75 У1  | НАМИТ-10-66-У3 | Меркурій АR-00   |
| ТО2                    | ТЛК-10/75 У1  | НАМИТ-10-66-У3 | Меркурій АR-00   |
| ТО3                    | ТЛК-10/30 У1  | НАМИТ-10-66-У3 | Меркурій АR-00   |
| ТО4                    | ТЛК-10/75 У1  | НАМИТ-10-66-У3 | Меркурій АR-00   |
| ТО5                    | ТЛК-10/30 У1  | НАМИТ-10-66-У3 | Меркурій АR-00   |

Результати розрахунку похибки по іншим вимірювальним каналам є подібними, а результати розрахунку приведені в табл. 10.5.2.

Таблиця 10.5.2. Результуючі похибки вимірювального каналу

| Номер<br>БК | Систематична, % |            |                 |               |                      | $\Delta_{\text{БК}}$ | Випадкова, % |            |                 |               |                      | $\delta_{\text{БК}}$ | Фактичне, тис. кВт·год                   |
|-------------|-----------------|------------|-----------------|---------------|----------------------|----------------------|--------------|------------|-----------------|---------------|----------------------|----------------------|------------------------------------------|
|             | $\Delta_I$      | $\Delta_U$ | $\Delta_\theta$ | $\Delta_{U2}$ | $\Delta_{\text{ЛЧ}}$ |                      | $\delta_I$   | $\delta_U$ | $\delta_\theta$ | $\delta_{U2}$ | $\delta_{\text{ЛЧ}}$ |                      | $+W_{\text{генер.}} (-W_{\text{спож.}})$ |
| КО1         | 0,106           | 0,12       | 0               | -0,13         | 0                    | 0,101                | 0,579        | 0,08       | 0,626           | -0,13         | 0,5                  | 0,949                | $+11213,60631492 \pm 98,3702$            |
| ТО1         | 0,024           | 0,12       | 0,01            | -0,25         | -0,75                | -0,85                | 1,03         | 0,076      | 0,744           | -0,25         | 1,0                  | 1,556                | $-3413,1808464 \pm 49,5428$              |
| ТО2         | 0,015           | 0,12       | 0,03            | -0,25         | -0,75                | -0,83                | 1,028        | 0,076      | 0,742           | -0,25         | 1,0                  | 1,554                | $-3511,124459416 \pm 50,8953$            |
| ТО3         | 0,307           | 0,12       | 0,04            | -0,25         | -0,75                | -0,53                | 1,086        | 0,076      | 0,784           | -0,25         | 1,0                  | 1,607                | $-1702,97454348 \pm 25,4524$             |
| ТО4         | 0,011           | 0,12       | 0,04            | -0,25         | -0,75                | -0,83                | 1,027        | 0,076      | 0,741           | -0,25         | 1,0                  | 1,553                | $-3508,751543584 \pm 50,8312$            |
| ТО5         | 0,292           | 0,12       | 0,03            | -0,25         | -0,75                | -0,56                | 1,083        | 0,076      | 0,782           | -0,25         | 1,0                  | 1,604                | $-1784,622024 \pm 26,6335$               |
| Небаланс    |                 |            |                 |               |                      |                      |              |            |                 |               |                      |                      | $-2707,0471 \pm 104,985$                 |

## Висновки

В кваліфікаційній роботі виконано розробку системи енергопостачання та енергетичного контролю заводу з виробництва радіоапаратури. Під час виконання роботи проведено аналіз технологічного процесу підприємства та досліджено структуру споживання енергоресурсів. Встановлено, що основними енергоносіями на підприємстві є електрична енергія, теплова енергія та стисле повітря, які забезпечують роботу виробничого обладнання, допоміжних систем та інженерної інфраструктури.

В роботі виконано розрахунок електричних навантажень освітлювальних та силових споживачів. Визначено, що сумарна розрахункова активна потужність підприємства становить близько 5,62 МВт, а повна потужність системи електропостачання після компенсації реактивної потужності – близько 5,74 МВА. Отримані результати стали основою для подальшого вибору елементів системи електропостачання та розподілу навантажень між трансформаторними підстанціями.

Виконано розрахунок теплових навантажень виробничих, адміністративних та допоміжних будівель підприємства. На основі отриманих результатів побудовано графіки теплового споживання, що дозволило визначити характер зміни теплового навантаження протягом опалювального періоду та забезпечити раціональний вибір параметрів системи теплопостачання.

Проведено гідравлічний розрахунок теплової мережі та визначено необхідні параметри трубопроводів. Також виконано розрахунок теплової ізоляції, що дозволило зменшити теплові втрати під час транспортування теплоносія та підвищити загальну енергоефективність системи теплопостачання.

На підставі розрахунків електричних і теплових навантажень побудовано відповідні графіки та картограми навантажень. Це дало можливість обґрунтувати раціональне розташування трансформаторних підстанцій та забезпечити мінімізацію втрат електроенергії в розподільчих мережах.

В роботі здійснено вибір напруги та схеми зовнішнього електропостачання підприємства. Визначено кількість і потужність цехових трансформаторних

|  |  |  |  |  |  |      |
|--|--|--|--|--|--|------|
|  |  |  |  |  |  | Арк. |
|  |  |  |  |  |  | 83   |

підстанцій, що забезпечують необхідний рівень надійності електропостачання відповідно до категорії споживачів. Для живлення підприємства прийнято використання трансформаторних підстанцій з трансформаторами потужністю 630 кВА.

Виконано аналіз режимів реактивної потужності та розроблено заходи щодо її компенсації. Встановлення батарей статичних конденсаторів дозволило підвищити коефіцієнт потужності, зменшити навантаження на мережу та скоротити втрати електроенергії в елементах системи електропостачання.

Проведено розрахунок струмів короткого замикання та на його основі виконано вибір високовольтного обладнання, кабельних ліній і комутаційних апаратів. Обране обладнання відповідає умовам нормальної експлуатації та вимогам електродинамічної і термічної стійкості при аварійних режимах роботи.

В спеціальному розділі розглянуто питання впровадження системи контролю енергоресурсів. Показано, що використання сучасних засобів моніторингу, збору та аналізу даних про споживання електричної і теплової енергії дозволяє своєчасно виявляти нераціональні витрати енергоресурсів, підвищувати ефективність роботи підприємства та знижувати експлуатаційні витрати.

Таким чином, поставлена мета кваліфікаційної роботи досягнута. Розроблена система енергопостачання забезпечує надійне та економічно обґрунтоване електро- і теплопостачання заводу з виробництва радіоапаратури, а запропоновані заходи з енергетичного контролю сприяють підвищенню ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів підприємства.

## Література

1. Шкрабець Ф.П., Плешков П.Г. Основи електропостачання. Навчальний посібник. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2010.
2. Енергетичні установки: Методичні вказівки до курсової роботи для студентів спеціальності 8.090603/ Укл. С.П. Богатирьова та ін. Кіровоград: КДТУ, 2002, - 73 с.
3. Методичні вказівки до виконання дипломного і курсового проекту з курсу “Енергетичний менеджмент” для студентів спеціальності “Енергетичний менеджмент” усіх форм навчання. [Електронний ресурс] / Укладачі: Плешков П.Г., Серебренніков С.В., Сіріков О.І., Полтавець М.М., Савеленко І.В. – Кіровоград: КНТУ, 2013 – 168 с. /
4. Енергетичний інжиніринг та менеджмент: в 3-х ч. Ч. 1. Проектування ефективних енергетичних систем / П.Г. Плешков, С.В. Серебренніков, О.І. Сіріков, І.В. Савеленко; під редакцією Заслуженого працівника освіти України, кандидата технічних наук, професора Плешкова П.Г. – М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2018.– 156 с.
5. Плешков П.Г., Орлович А.Ю., Котиш А.І. Електропостачання промислових підприємств: Навчальний посібник для курсового та дипломного проектування. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2007.
6. Електропостачання промислових підприємств: Методичні вказівки до виконання дипломного проекту (електропостачання заводу) для студентів V-VI курсів спеціальності 8.090603 „Електротехнічні системи електроспоживання” усіх форм навчання /Укл.: П.Г.Плешков, А.І.Котиш, А.Ю.Орлович. – Кіровоград: КДТУ, 2004 – 133 с.
7. Методичні вказівки загальні вимоги по оформленню та змісту кваліфікаційного проекту : для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спец. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / [уклад. : П. Г. Плешков, Н. Ю. Гарасьова, О. І. Сіріков, А. І. Котиш] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. електротехн. систем та енергетичного менеджменту. - Кропивницький : ЦНТУ, 2020. – 62 с.