

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: **Розробка системи обліку електричної енергії котельні**
Галицька КП «Тернопільміськтеплокомуненерго»

Виконав: студент 6 курсу, групи ЕТм-63

напряму підготовки (спеціальності)

141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

	<u>Демчук О.В.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Керівник	<u>Белякова І.В.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	<u>Коваль В.П.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	<u>Коваль В.П.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Рецензент	<u>Габрусєв Г.В.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)

Факультет *прикладних інформаційних технологій та електроінженерії*
(повна назва факультету)

Кафедра *електричної інженерії*
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри *Коваль В.П.*

«» 2024 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня *магістр*
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю *141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»*
(шифр і назва)

студенту *Демчуку Олегу Вікторовичу*
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Розробка системи обліку електричної енергії котельні
Галицька КП «Тернопільськтеплокомуненерго».*

Керівник роботи *Белякова Ірина Володимирівна, к.т.н., доцент*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом по університету від *10 жовтня 2024 року № 4/7-983*

2. Термін подання студентом роботи *20 грудня 2024 р.*

3. Вихідні дані до роботи *Характеристики енергетичної інфраструктури котельні, технічна-
характеристика котлів, насосного обладнання, електродвигунів та інших технічних засобів
енергетичні показники за останні чотири роки.*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

- 1. Аналітичний розділ.*
- 2. Розрахунково-дослідницький розділ.*
- 3. Проектно-конструкторський розділ.*
- 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях*

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

- 1. Загальний вигляд котельні та її тепломеханічна схема роботи.*
- 2. Перелік та технічна характеристика встановленого на котельні обладнання.*
- 3. Схема живлення котельні від підстанції.*
- 4. Опис та технічна характеристика приладів обліку електричної енергії*
- 5. Схема взаємодії між лічильниками, контролерами, програмним забезпеченням.*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>к.т.н., доц. Гурик О.Я.</i>		
<i>Безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>ст. викл. Клепчик В.М.</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>к.т.н., доц. Коваль В.П.</i>		

02 вересня 2024 р.

[illegible]

Демчук О.В.

(прізвище та ініціали)

Белякова І.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 75 сторінок. В роботі міститься 37 рисунків і 11 таблиць.

Наша кваліфікаційна робота присвячена розробці системи обліку електричної енергії для комунального підприємства «Тернопільміськтеплокомуненерго» що займається виробництвом теплової енергії.

Метою кваліфікаційної роботи є: підвищення точності обліку електроенергії, забезпечення оперативного моніторингу споживання, виявлення витрат енергії та оптимізація енерговитрат підприємства.

Об'єктом дослідження: котельня комунального підприємства, її енергетична інфраструктура, яка включає споживання, виробництво та передачу електричної енергії для забезпечення виробництва теплової енергії.

Предметом дослідження є процеси обліку електричної енергії, включаючи:

1. Методи збору даних про споживання електроенергії.
2. Технологічні засоби вимірювання (лічильники).
3. Інформаційні системи, що забезпечують автоматизацію обліку та моніторинг енергетичних витрат.
4. Аналіз енергоефективності роботи підприємства.

Перелік ключових слів:

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЯ, СПОЖИВАННЯ, ОБЛІК ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, ЛІЧИЛЬНИК ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ВИРОБНИЦТВО ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ.

ЗМІСТ

	с.
ВСТУП.....	6
 1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	 8
1.1 Історія розвитку теплового району №1 м. Тернополя	8
1.2 Характеристика котелень теплового району №1	10
1.2.1 Компонування обладнання котелень	10
1.2.2 Характеристика водогрійних котлів теплового району №1	13
1.3 Енергоаудит котельні по вулиці Галицька, 40.....	14
1.3.1 Загальний опис котельні.....	14
1.3.2 Характеристика обладнання котельні	17
1.4 Висновки до розділу 1	24
 2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	 26
2.1 Опис об'єкта дослідження.....	26
2.2 Аналіз витрат на електричну енергію	32
2.3 Необхідність впровадження автоматизованої системи обліку електричної енергії на теплогенеруючому підприємстві.....	33
2.4 Вибір технічних засобів для реалізації проекту	35
2.4.1 Вибір лічильника електричної енергії.....	35
2.4.2 Вибір трансформаторів струму.....	37
2.5 Оптимізація роботи насосного обладнання	38
2.6 Вибір програмовано – логічних контролерів.....	42
2.6.1 Контролер WAGO I/O-SYSTEM 750-882	42
2.6.2 Контролер ПЛК 150	44

2.7 Вибір програмного комплексу для реалізації системи обліку електроенергії	45
2.8 Схема автоматизації контролю та обліку електричної енергії.....	48
2.8.1 <i>Схеми підключення лічильників електричної енергії</i>	48
2.8.2 <i>Схеми підключення частотних перетворювачів</i>	51
2.9 Висновки до розділу 2	53

3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ.....55

3.1 Моделювання в лабораторних умовах	55
3.1.1 <i>Побудова системи обліку на базі двох високочастотних перетворювачів</i>	55
3.1.2 <i>Робота зі SCADA. Проект в SIMPLE SCADA.....</i>	60
3.2 Висновки до розділу 3.....	62

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....64

4.1. Аналіз ризику щодо охорони праці в умовах функціонування комунального підприємства «Тернопільміськтеплокомуненерго»	64
4.2 Заходи забезпечення електробезпеки.....	65
4.3 Заходи по запобіганню виникнення пожежі	67
4.4 Підвищення стійкості роботи об'єктів критичної інфраструктури у воєнний час	68

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....72

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....73

ВСТУП

Актуальність теми. Використання сучасних систем обліку електричної енергії дозволяє здійснювати вимірювання та перетворення основних електричних величин, а підтримка цими системами математичних операцій дозволяє здійснювати певні розрахунки, що використовуються у розрахунках з підприємствами – постачальниками, оптимізація режимів тощо.

Структура управління сучасними підприємствами така, що зацікавлені особи (власники) можуть перебувати на великій відстані від нього та отримувати контрольні цифри про роботу підприємства у вигляді інтегрованих показників, які дуже складно піддаються аналізу. На підприємствах теплоенергетики саме детальний аналіз споживаних ресурсів та виробленої продукції є основою можливої оптимізації виробництва.

Для того, щоб проводити аналіз, необхідно мати доступ до оперативної інформації. Таку інформацію в даний час надають системи обліку, які можуть бути різними щодо організації та призначення, але головне їх завдання полягає у наданні об'єктивної інформації з певною періодичністю.

Термін «об'єктивна» означає, що у створенні інформаційних потоків та їх можливої обробки не брала участь людина. Якщо така система обліку грамотно спроектована і правильно експлуатується, то інформація, яка отримується з неї, є дуже правдоподібною.

Власники підприємств зацікавлені у розробці таких систем. Це дозволяє оперативно контролювати матеріальні та енергетичні потоки, оптимізувати їх шляхом удосконалення технологій та технічних засобів.

У роботі вирішується завдання створення системи обліку електричної енергії з можливістю підключення віддалених користувачів.

Метою кваліфікаційної роботи є: підвищення точності обліку електроенергії, забезпечення оперативного моніторингу споживання, виявлення витрат енергії та оптимізація енерговитрат підприємства.

Об’єктом дослідження: котельня комунального підприємства, її енергетична інфраструктура, яка включає споживання, виробництво та передачу електричної енергії для забезпечення виробництва теплової енергії.

Предметом дослідження є процеси обліку електричної енергії, включаючи:

1. Методи збору даних про споживання електроенергії.
2. Технологічні засоби вимірювання (лічильники).
3. Інформаційні системи, що забезпечують автоматизацію обліку та моніторинг енергетичних витрат.
4. Аналіз енергоефективності роботи підприємства.

Апробація роботи. Демчук О.В. Розробка системи обліку електричної енергії котельні / І.В. Белякова, В.І. Гетманюк, О.В. Демчук // Збірник тез доповідей. Матеріали XIII міжнародної науково - технічної конференції «Актуальні задачі сучасних технологій» (м. Тернопіль, 11 - 12 грудня 2024р.) / М-во освіти і науки України, Тернопільський нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя – Т.: ТНТУ, 2024.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 4-х розділів, висновків, переліку посилань (25 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини – 75 сторінок, 11 таблиць і 37 рисунків.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Історія розвитку теплового району №1 м. Тернополя

В 1968 році була утворена Дирекція котелень м. Тернополя, до яких входили такі котельні як Дружба, Новий Світ і котельні вбудовані в майже кожному будинку в центрі і інших районах міста.

При індустріальному розвитку м. Тернополя і будівництві великих заводів і фабрик, таких як Комбайновий завод, «Текстерно», «Оріон», «Сатурн» і інших, виникла проблема забезпечення житла і будівель соцкультпобуту (шкіл, дитячих садочків, поліклінік, лікарень, будинків культури і т. ін.). Це в свою чергу викликало потребу в перспективному плануванні розвитку і забудови міста. Із забудовою багатоповерхових житлових будинків, шкіл, садочків, лікарень, виникла потреба в забезпеченні їх електроенергією, природнім газом, холодною водою, а також теплом і гарячим водопостачанням.

Із створенням Тернопільського обласного підприємства теплових мереж в нашому місто розділили на чотири теплових райони, найбільший з них тепловий район №1, який забезпечує теплом проспект Злуки, вулиці Галицька, Бойківська, Над Яром, Ломоносова, Київська, Б.Лепкого, Пушкіна, Тарнавського, Чалдаєва, 15 Квітня, П. Куліша, Бр. Бойчуків, Купчинського, С. Петлюри, Корольова, В. Симоненка, Ю. Смакули, В. Стуса, Ак. Сахарова, В. Великого, Л. Курбаса, Н. Морозенка, Д. Вишневецького.

Згідно генерального плану забудови міста Тернополя для забезпечення житлового масиву Сонячний в 1975 році була введена в експлуатацію котельня по вул. Київській, 3а. Спочатку в експлуатацію ввели два котли типу ПТВМ-30 загальною теплопродуктивністю 70 Гкал/год. В 1981 р. на котельні Київська, 3а, зі зростанням кількості споживачів на цій котельні введений в експлуатацію ще один котел ПТВМ-30. В цьому ж році збудовано котельню по вул. Галицька, 40 з двома котлами типу ТВГ-8М загальною тепловою потужністю 16,6 Гкал/год, через чотири роки на ній встановлено два котли КВГ-6,5-150 загальною продуктивністю 13 Гкал/год. 1987 року на Київській, 3а встановлено котел КВ-

ГМ-30-150 теплопродуктивністю 30 Гкал/год.

В генеральному плані було передбачено в кінці 1980-тих будівництво ще однієї котельні по вул. Мануїльського (теперішні вул. Л. Курбаса і частина вул. Тарнавського) тепловою потужністю 150 Гкал/год для теплопостачання новобудов, будівництво яких тільки передбачалось і тих, які вже були збудовані, але у зв'язку з браком фінансування в період здобуття нашою державою незалежності, яке потягнуло за собою ряд економічних і інших проблем, будівництво котельні було призупинено, і Тернопільське обласне підприємство теплових мереж з 1990 року почало забезпечувати цей мікрорайон покупною тепловою енергією від котельні заводу «Сатурн», яка обладнана двома котлами КВ-ГМ-30-150 загальною тепловою потужністю 60 Гкал/год. На протязі 1990 – 1998 років частину теплорайону КП «Тернопільськтеплокомуненерго» забезпечувало покупною теплотою за тарифом вищим в 1,25 рази. В 1998 році згідно рішення Міської ради депутатів котельня заводу «Сатурн» була передана на баланс КП «Тернопільськ-ктеплокомуненерго».

В 1991 році введена в експлуатацію котельня по вул. Купчинського, 14 - три котли КВГ-7,56-150 загальною теплопродуктивністю 19,5 Гкал/год.

За даними КП «Тернопільськтеплокомуненерго» 2004 року, теплозабезпечення і ГВП теплового району №1 здійснюється від чотирьох котелень загальною тепловою потужністю 274,1 Гкал/год і 15 ЦТП (бойлерних).

Таблиця 1.1

Характеристика котлів теплового району №1

№ п/п	Адреса котельні	Марка котла	Тип пальника	Рік введення в експлуатацію	Термін експлуатації, років	Теплова продуктивність, Гкал/год
1	2	3	4	5	6	7
1	Київська, 3а	ПТВМ-30	РГМГ	1975	29	35,0
		ПТВМ-30	РГМГ	1975	29	35,0
		ПТВМ-30	РГМГ	1981	26	35,0
		КВ-ГМ-30-150	РГМГ-30	1987	17	30,0
		КВ-ГМ-30-150	РГМГ-30	1996	11	30,0
	Теплопродуктивність котельні, Гкал/год					165,0

Продовження Таблиці 1.1.

1	2	3	4	5	6	7
2	Купчинського, 14	КВГ-7,56-150	подовий	1991	15	6,5
		КВГ-7,56-150	подовий	1991	15	6,5
		КВГ-7,56-150	подовий	1991	16	6,5
	Теплопродуктивність котельні, Гкал/год					19,5
3	Галицька, 40	ТВГ-8М	подовий	1981	23	8,3
		ТВГ-8М	подовий	1981	23	8,3
		КВГ-6,5	—	1985	21	6,5
		КВГ-6,5	—	1985	21	6,5
	Теплопродуктивність котельні, Гкал/год					29,6
4	Курбаса, 3а	КВ-ГМ-30-150	РГМ-30	1985	19	30,0
		КВ-ГМ-30-150	РГМ-30	1989	15	30,0
	Теплопродуктивність котельні, Гкал/год					60
Теплопродуктивність теплового району, Гкал/год						274,1

Котельні теплового району призначені для теплозабезпечення і ГВП побутових споживачів і громадських будівель. Котельня використовує мазут і природний газ як паливо для своїх котлів. Максимальна розрахункова температура теплоносія (на всіх котельнях встановлено водогрійні котли, тобто теплоносієм є вода) становить 140 °С.

1.2 Характеристика котелень теплового району №1

1.2.1 Компонування обладнання котелень

Взаємне розміщення основного і допоміжного обладнання в приміщенні котельного цеху називають компоновкою обладнання. Компонування обладнання вибирається проектною організацією в залежності від виду опалювального палива, способу його спалювання, типу топок, потужностей котлоагрегатів, вимог до очистки продуктів згорання і інших факторів.

Компоновка обладнання повинна забезпечувати зручності роботи і безпеку експлуатаційного і ремонтного персоналу, мінімальну протяжність трубопроводів, газоходів і повітропроводів, мінімальні затрати на будівництво котельні, скорочення чисельності експлуатаційного персоналу, автоматизацію технологічних процесів, механізацію ремонтних робіт, можливість розширення котельні при встановленні нового обладнання. Всі рішення по компонуванню котельні приймаються з врахуванням будівельних норм та правил, вимогам техніки безпеки, санітарним і протипожежним нормам.

Одним із важливих принципів сучасної компоновки обладнання котельних цехів є використання окремих блоків підвищеної заводської готовності при проектуванні, доставці і монтажі обладнання. Обладнання котельні окремими блоками технологічного обладнання разом з трубопроводами, газоходами, повітропроводами, кабелями і іншими комунікаціями помітно зменшує строки і підвищує якість будівельно-монтажних робіт, оскільки основна частина робіт виконується на заводі. На монтажній площі відбувається лише доставка блоків і з'єднання їх між собою.

На даний час для центральних котелень з паровими і водогрійними котлами найбільш раціональне компонування з паралельним розміщенням котлів і допоміжного обладнання (деаераторів, живильних насосів, пиловловлювачів). Автоматизовані системи управління потрібно розміщувати в спеціальному приміщенні. У великих котельнях з водогрійними котлами обладнання водопідготовки потрібно розміщувати в окремих приміщеннях.

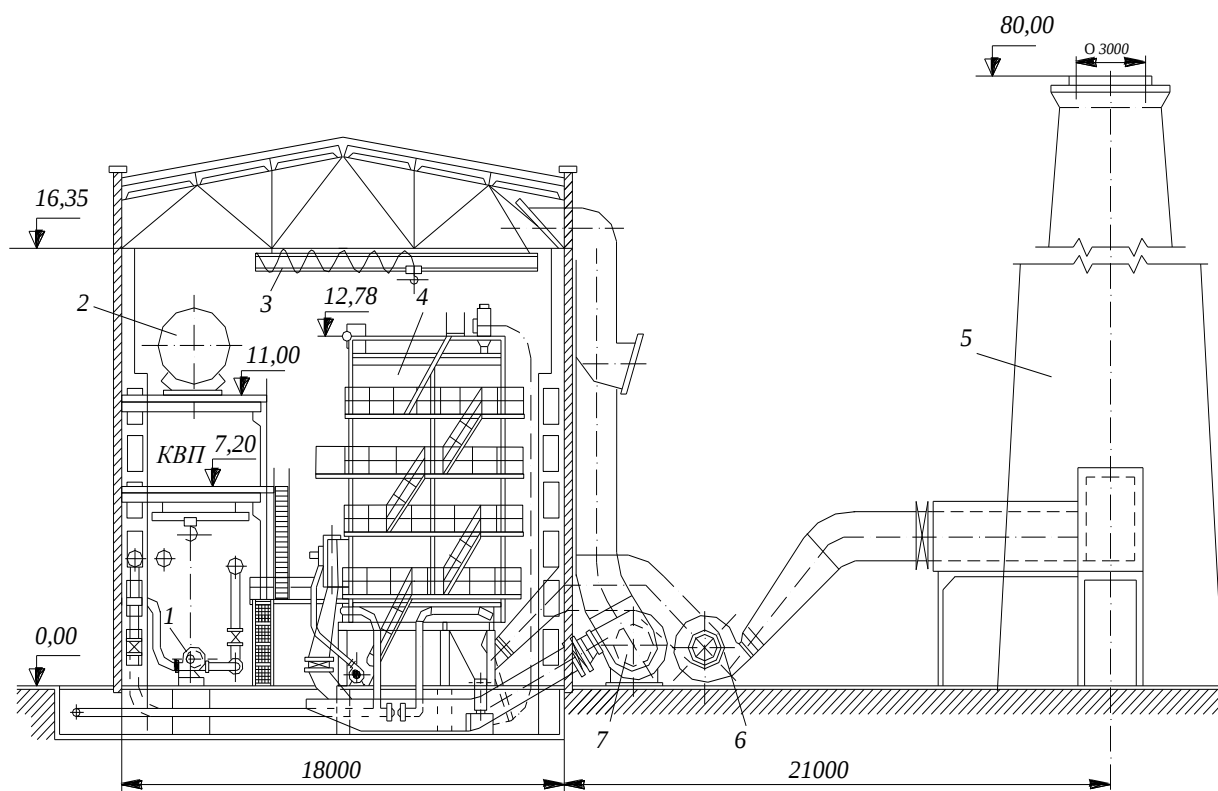
У відповідності зі СНиП II-35-76 розміри прольотів будівель і споруд слід приймати кратними 6 м. При спеціальному обґрунтуванні допускається викорис-тання прольотів з розмірами кратними 3 м. Крок колон повинен прийматися рівним 6 м. При спеціальному обґрунтуванні крок колон допускається приймати рівним 12 м. Об'ємно-планові і конструктивні рішення будівель і споруд котелень повинні допускати можливість розширення споруд. При установці тільки парових і водогрійних котлів для розширення котельні залишають вільними один із торців споруд. В котельнях змішаного типу (з

паровими і водогрійними котлами) в одній половині приміщення слід встановлювати парові, а в другій – водогрійні котли.

Розширення парової частини котельні відбувається в одну сторону, а водогрійної – в другу, тобто обидва торці споруди повинні бути вільними.

Для крупноблочного монтажу обладнання в стінах і перекриттях будівель повинні передбачатися монтажні отвори, для яких, як правило, використовуються торцеві стіни будівлі зі сторони розширення котельні.

Компонування обладнання котельні з комбінованими паро-водогрійними котлами принципово не відрізняється від компоновки котельень з паровими чи водогрійними котлами, а спрощується і здешевлюється. В котельнях з комбінованими паро-водогрійними котлами знижуються затрати на будівництво внаслідок зменшення числа встановлюваних агрегатів і довжини котельні.



1 – мережевий насос; 2 – деаератор підживлюючої води; 3 – підвісний електричний кран; 4 – водогрійний котел; 5 – димова труба; 6 – димосос, 7 – дутєвий вентилятор.

Рисунок 1.1 – Компоновка водогрійної котельні з водогрійними котлами ПТВМ-30 і КВ-ГМ-30-150 (поперечний переріз)

На рис. 1.1 представлено типове компонування котельні потужністю 175 МВт для спалювання газу. У котельні встановлено 3 водогрійних котла КВ-ГМ-30-150 і ПТВМ-30. Котельня призначена для теплопостачання споживачів II категорії. Як паливо котельня використовує мазут і природний газ. Будівля котельні виконана із збірних залізобетонних конструкцій. Максимальна розрахункова температура гарячої води $t_{г.в.} = 140\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для гарячого водопостачання і підживлення теплової мережі передбачена підготовка води з $t_{п.в.} = 65\text{ }^{\circ}\text{C}$.

1.2.2 Характеристика водогрійних котлів теплового району №1

Теплопостачання споживачів теплового району №1 здійснюється тільки від котелень з водогрійними котлами різної потужності і з різними коефіцієнтами корисної дії, і попри однаковий принцип роботи, кожен має свої особливості будови в залежності від теплової продуктивності, типу компоновки, типу пального. Тому опишемо роботу і параметри котлів перелік, яких приведений в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Характеристика котлів теплового району станом на 1 січня 2008р., фактичні дані

№ п/п	Адреса котельні	Марка котла	Тип пальника	Рік введення в експлуатацію	Термін експлуатації, років	Фактичні параметри котла	
						Теплова продуктивність, Гкал/год	ККД, %
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Київська, 3а	ПТВМ-30	РГМГ	1975	29	35,10	91,2
		ПТВМ-30	РГМГ	1975	29	23,20	91,0
		ПТВМ-30	РГМГ	1981	26	25,20	91,0
		КВ-ГМ-30-150	РГМГ-30	1987	17	27,00	90,9

Продовження таблиці 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8
1	Київська, 3а	КВ-ГМ-30-150	РГМГ-30	1996	11	30,00	91,0
2	Купчинського, 14	КВГ-7,56-150	подовий	1991	15	5,40	91,2
		КВГ-7,56-150	подовий	1991	15	6,20	90,7
		КВГ-7,56-150	подовий	1991	16	6,20	91,2
3	Галицька, 40	ТВГ-8М	подовий	1981	23	8,00	89,8
		ТВГ-8М	подовий	1981	23	8,00	89,9
		КВГ-6,5		1983	21	6,5	90,7
		КВГ-6,5		1983	21	6,5	91,0
4	вул. Курбаса, 3а	КВ-ГМ-30-150	РГМ-30	1985	19	24,00	90,8
		КВ-ГМ-30-150	РГМ-30	1989	15	25,30	90,2

1.3 Енергоаудит котельні по вулиці Галицька, 40

1.3.1 Загальний опис котельні

Будівля котельні одноповерхова з розмірами в плані 65,050×16,055 м. Стіни котельні виконані із червоної керамічної цегли. Покриття зроблене із збірних залізобетонних ребристих плит. Покрівля - рубероїдна. Підлоги - бетонні. Вікна виконані одиночного засклення в металевих рамах. Двері металеві і дерев'яні. Всі конструкції в задовільному стані.

Штат котельні

№ п/п	Посада працівника	Кількість чоловік			Група вир. процесів	Катег.
		Всього	1 зміна	2 зміна		
1.	Майстер котельні	1	1	-	1м	роб
2.	Майстер внутрішньо домової служби	1	1	-	1м	роб
3.	Оператор котельні	4	2	2	1б	роб
4.	Слюсар по обладнанню	4	4	-	1в	роб
5.	Лаборант ХВО	1	1	-	1б	роб
6.	Всього	11	9	2		

Теплоносії – вода з температурою 115 – 70 °С. В якості палива використовується природний газ $Q_p^u = 8050 \frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$. Циркуляція теплоносія в системі теплопостачання здійснюється за допомогою насосів. Трубопроводи котельні передбачені з сталених електрозварних труб ГОСТ 10704-91.

Водопідготовка.

В загальному якість будь-якої води характеризується такими показниками:

- загальний вміст, $\frac{\text{мг}}{\text{кг}}$;
- жорсткість, $\frac{\text{мгекв}}{\text{кг}}$;
- щільність, $\frac{\text{мгекв}}{\text{кг}}$;
- вміст кремнієвої кислоти, $\frac{\text{мг}}{\text{кг}}$;
- вміст корозійноактивних газів, $\frac{\text{мг}}{\text{кг}}$.

Зазвичай воду для додавання в мережу очищують від грубодисперсних і колоїдних домішок та накипоутворюючих солей, а також звільняють від розчиненого повітря.

Грубодисперсні домішки видаляють з води або її відстоюванням в відстійниках або фільтрацією в фільтрах. В багатьох випадках процеси

відстоювання і фільтрації води здійснюють послідовно, спочатку відділяють основну масу грубо-дисперсної домішки в відстійниках, а потім проводячи більш глибоке освітлення води в фільтрах.

Обробка води для підживлення котлів прийнята по схемі одноступеневого Na-катіонування. З водопроводу за допомогою насосів або під тиском вода поступає на Na-катіонітові фільтри. Після фільтрів оброблена вода йде на підживлення системи тепlopостачання. Для підтримання запасу хімоочищеної води використовується існуючий бак запасу. В якості катіоніту використовується сульфовугілля. Регенерація фільтрів здійснюється солевим розчином NaCl приготуваному у солерозчиннику. Сіль в солерозчинник подається в ручну. Промивка солерозчинника і фільтра здійснюється водопровідною водою. Стоки хімоводоочистки зливаються в каналізацію. Na-катіонітові фільтри можуть бути включені в роботу паралельно або послідовно.

Кінцева відфільтрована вода буде мати твердість – $20...50 \frac{\text{мкг} \cdot \text{екв}}{\text{л}}$.

Початкова твердість води перед фільтром – $7...8 \frac{\text{мг} \cdot \text{екв}}{\text{л}}$.

Газообладнання котельні.

Газопостачання котлів здійснюється від газопроводу середнього тиску. Для пониження тиску газу використовується газорегуляторна установка з регулятором тиску РДУК-2-50. Для вимірювання витрати газу використовується лічильник GMS – G160.

Для продувки і скидання газу передбачені продувочні газопроводи (свічки), які виводяться на 2 м вище парапету будинку. На котлах і газоходах встановлені вибухові клапани.

Вентиляція.

Вентиляція котельного залу припливно-витяжна з природним спонуканням з трьохкратним повітрообміном повітря в приміщенні котельного залу і подачею повітря на горіння при максимальній витраті газу. Для припливу повітря передбачені отвори в вікнах зашиті сіткою. Витяжка здійснюється через дефлектори.

Опалення.

Система опалення котельні така, що існуюча кількість нагрівальних приладів забезпечує умови температурного режиму в усіх приміщеннях.

Водопостачання.

Система внутрішнього водопроводу включає системи: господарську питну, протипожежну і виробничу. Існуючий напір 40 м. Внутрішня мережа холодного водопостачання виготовлена з сталених оцинкованих водогазопровідних труб. Трубопроводи холодного водопостачання ізолюють прошивними мінераловатними матами товщиною 40 мм з обгорткою склополотном з однієї сторони М125 з влаштуванням накривного шару із склопластику рулонного марки РСТ-АЛ-В по серії 7.903.9-2.

Каналізація.

Відведення стічних вод від промивання Na-катіонітових фільтрів і побутових стічних вод передбачено в каналізаційну мережу, яка задовольняє існуючі вимоги.

1.3.2 Характеристика обладнання котельні

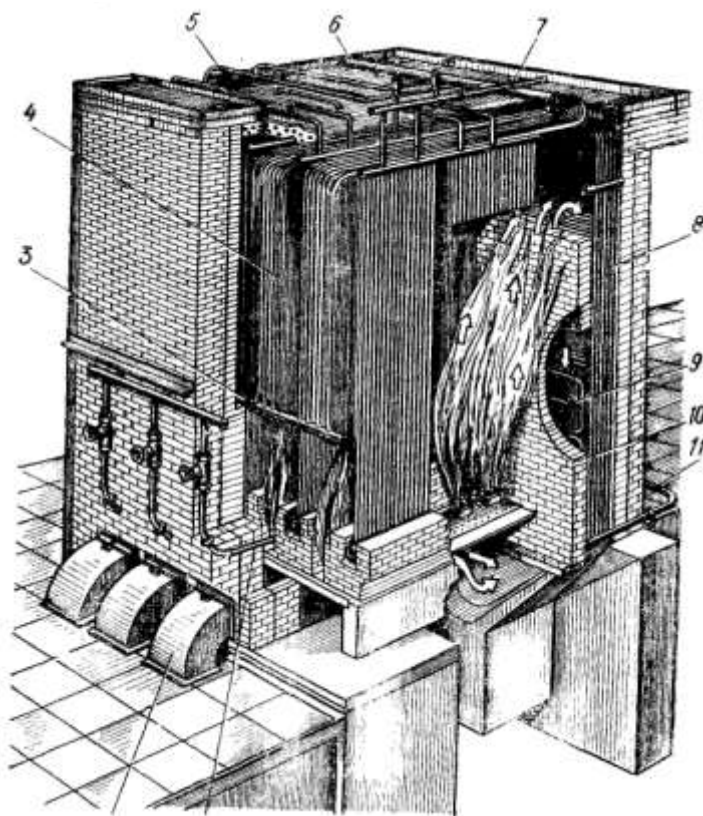
Для виробництва теплової енергії, в тому числі на опалення, на гаряче водопостачання і на виробництво пари на котельні встановлені такі устаткування:

1. Котлоагрегат типу ТВГ-8М (2 шт.)
2. Котлоагрегат водогрійний типу КВГ-6,5 (2 шт.) – резервні.
3. Блок Na-катіонітових фільтрів d700 мм. (3 шт.)
4. Деаераційний блок (1 шт.)
5. Бак резервної води $V=20 \text{ м}^3$ (1 шт.)
6. Пластинчастий водоводяний підігрівач (2 шт.)
7. Кожухотрубний підігрівач хімічищеної води (1 шт.)
8. Блок циркуляційних pomp (4 шт.)
9. Блок підживлювальних pomp (3 шт.)

10. Блок циркуляційних pomp гарячого водопостачання (3 шт.)
11. Блок резервних циркуляційних pomp (1 шт.)
12. Блок вакуумних pomp (1 шт.)

Водогрійні котли ТВГ-8М

На котельні по вул.Галицька, 40 встановлено два котли типу ТВГ-8М:
 – перший – реєстраційний номер 278 –Т; виготовлений 29 листопада 1980 року на Монастирищенському машино - будівному заводі імені 60-ліття Октября.
 – другий – реєстраційний номер 279 –Т; виготовлений 29 листопада 1980 року на Монастирищенському машино - будівному заводі імені 60-ліття



Октября

2 1

1 – газові пальники; 2 – повітропроводи; колектори: 3.передній, 6 – задній; труби: 4 – стельового, перехідного у фронтний, екрана, 5 – пропускні, 8 – конвективної поверхні нагрівання (стояки); трубопроводи: 7 – виходу гарячої води, 11 – входу зворотної води; 9 – зміювики; 10 – перегородка з вогнетривкої цегли

Рисунок 1.2 – Водогрійний котел ТВГ-8М

Розрахунковий тиск води на виході:

не нище $8,2 \text{ кгс/см}^2$,

не вище 12 кгс/см^2

Розрахункова температура води:

на вході 50°C ,

на виході 150°C

Теплопродуктивність $8,3 \text{ Гкал/год}$

Водогрійні котли КВГ-6,5

На котельні по вул.Галицька, 40 встановлено два котли типу КВГ-6,5:

– третій – реєстраційний номер 360 виготовлений 28 червня 1983 року.

– четвертий – реєстраційний номер 361 виготовлений 28 червня 1983 року.

Теплопродуктивність *до $6,50 \text{ Гкал/год}$.*

Робочий тиск води *от $8,2$ до $12,00 \text{ кгс/см}^2$*

Температура води на вході *50°C .*

Температура води *140°C .*

Котел КВГ- 6,5 укомплектований автоматикою безпеки типу „Кристал” Московського заводу «Теплоавтомат». При відхиленні заданих параметрів роботи котла від норм апаратура автоматики безпеки подає імпульс на відсічку електромагнітного запірною клапана, встановленого на газопроводі, в результаті чого припиняється подача газу до котла.

Вакуумна деаераційна установка призначена для усунення з води розчинених у ній газів і повітря. Кисень і вуглекислий газ, які розчинені у ній викликають корозію стінок котлів, трубопроводів, арматури, причому з підвищенням тиску і температури інтенсивність корозії зростає. Відомо декілька способів деаерації: термічний, хімічний, високочастотний, ультразвуковий. Найбільшого поширення набув термічний. Його суть полягає у тому, що кількість розчинених у воді газів зменшується з підведенням

температури і досягає нуля при температурі кипіння води, коли розчинені у воді гази повністю виходять з води. В деаераційний блок вода подається після пом'якшення. Далі вона подається на систему дирчастих та дископодібних тарілок, де вона розбризкується на струмінці, які під силою тяжіння падають вниз. Струмінці вступають в безпосередній контакт з парою, яка подається в частину деаераційної колонки і піднімається вгору. В результаті такої взаємодії вода нагрівається до температури кипіння. При цьому з неї виділяється кисень і вуглекислий газ, які разом з залишками несконденсованої пари викидаються в атмосферу. Через патрубок. Вода без газів попадає в бік акумулятора, звідки далі йде до підживлювальної помпи і котла.

Пластинчастий водоводяний підігрівач у порівнянні з апаратами кожухотрубними має основну перевагу, яка полягає в малих масогабаритних розмірах. Основні складові такого теплообмінника: поверхні нагрівання, кожух, штуцери, кільця для подачі теплоносія між пластинами і для розподілу носіїв, ізоляція кожуха (теплова), декоративне покриття.

Кожухотрубний підігрівач хімічищеної води складається з: трубчастих поверхонь теплообміну, кожуха, трубних решіток, сферичних кришок, патрубків для підведення і відведення теплоносіїв. Для зменшення втрат тепла в довкілля теплообмінник покритий ізоляцією.

Прилад обліку газу на котельні

Лічильник газу роторний GMS – G160 – 80 – 1,0 – УЗ.1- НЧ

Заводський номер 064572

$$Q_{max}=250 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$Q_{min}=1,6 \text{ м}^3/\text{год}$$

Дата виготовлення 9.07.2004 р.

Встановлений роторний газовий лічильник G160 вимірює об'єм спожитого газу.

Лічильник є однофункціональним виробом, що відновлюється та ремон-

тується в умовах підприємства - виробника. Режим роботи лічильника – тривалий, безперервний.

Проаналізуємо споживання паливно - енергетичних ресурсів котельнею Галицька 40 за останні чотири роки.

Таблиця 1.4

Найменування показників	Один. виміру	Роки			
		2020	2021	2022	2023
Вироблено тепла	Гкал/рік	28832,8	28869,2	28792,3	28758
Спожито палива	т.у.п.	5766,5	5773,8	5758,4	5751,6

Таблиця 1.5

Найменування показників	Один. виміру	Роки			
		2020	2021	2022	2023
Вироблено тепла	Гкал/рік	28832,8	28869,2	28792,3	28758
Спожито електричної енергії	тис. кВт×год	1441,6	1443,4	1439,6	1437,9

На котельні використовуються застарілі помпи з низьким ККД і великим споживанням електроенергії. Крім того внаслідок нещільностей в їх конструкціях має місце витікання теплоносія, що спричинює втрати напору і додаткове споживання водоресурсів і електроенергії на підтримання напору на належному рівні. З метою зменшення витрат електроенергії на виробництво тепла рекомендуємо замінити помпи, які мають велику тривалість роботи протягом року на нові сучасні помпи з сухим ротором WILO-Inline.

Допустимий діапазон температур -20 до +140°C. Число обертів двигуна 2900 1/хв. WILO-Inline - стандартна відцентрова помпа із всмоктувальним і напірним патрубком однакового діаметра зі стандартним двигуном.

Корпус і закрите робоче колесо відлите з чавуна. Помпи призначені для вертикального чи горизонтального монтажу на трубопроводі.

Переваги:

- висока ефективність при низьких затратах на експлуатацію;
- стандартний двигун ІЕС;
- захист двигуна ІР 55 для приміщень з високою вологістю;
- великий термін служби за рахунок примусового омиваючого, не залежного від напрямку обертання, торцевого ущільнення, яке працює у широкому діапазоні температур.

Таблиця 1.6

Заміна pomp	
Встановлені помпи	Помпи, які рекомендується замінити
<i>Блок циркуляційних pomp (12 год × 190 днів)</i>	
КМ 90/55 Q=90 м³/год, Н=55 м вод.ст., Р _{дв} =18 кВт	Не замінюємо
К 100-65-200А Q=90 м³/год, Н=40 м вод.ст., Р _{дв} =22 кВт, η _н =60 %, η _{ое} =70 %	WILO-II 80/170-15/2 Q=90 м³/год, Н=38 м вод.ст., Р _{дв} =15 кВт, η _н =80 %, η _{ое} =89 %
КМ 160/20 Q=160 м³/год, Н=20 м вод.ст., Р _{дв} =13 кВт, η _н =77 %, η _{ое} =70 %	WILO-II 100/145-11/2 Q=160 м³/год, Н=18 м вод.ст., Р _{дв} =11 кВт, η _н =76 %, η _{ое} =87 %
<i>Блок підживлювальних pomp (2 год × 190 днів)</i>	
КМ 65/50-160 Q=25 м³/год, Н=32 м вод.ст., Р _{дв} =5,5 кВт, η _н =63 %, η _{ое} =70 %	Не замінюємо
К 20/30 Q=20 м³/год, Н=30 м вод.ст., Р _{дв} =4 кВт, η _н =65 %, η _{ое} =70 %	Не замінюємо
<i>Циркуляційна помпа гарячого водопостачання (16 год × 365 днів)</i>	
К 45/30 (3 шт.) Q=45 м³/год, Н=30 м вод.ст., Р _{дв} =7,5 кВт,	WILO-II 65/160-5,5/2 Q=45 м³/год, Н=32 м вод.ст., Р _{дв} =5,5 кВт,

$\eta_n = 70 \%, \eta_{\text{дв}} = 70 \%$	$\eta_n = 70 \%, \eta_{\text{дв}} = 85 \%$
<i>Циркуляційна помпа на літній час роботи котла на гаряче водопостачання (16 год × 190 днів)</i>	
КМ 65/50-160 $Q = 25 \text{ м}^3/\text{год}, H = 32 \text{ м вод.ст.}, P_{\text{дв}} = 5,5 \text{ кВт},$ $\eta_n = 63 \%, \eta_{\text{дв}} = 70 \%$	WILO-II 40/160-4/2 $Q = 25 \text{ м}^3/\text{год}, H = 30 \text{ м вод.ст.},$ $P_{\text{дв}} = 4 \text{ кВт},$ $\eta_n = 64 \%, \eta_{\text{дв}} = 86 \%$
<i>Блок резервних циркуляційних помп</i>	
КМ 160/20 (1 шт.) $Q = 160 \text{ м}^3/\text{год}, H = 20 \text{ м вод.ст.}, P_{\text{дв}} = 13 \text{ кВт},$ $\eta_n = 77 \%, \eta_{\text{дв}} = 70 \%$	Не заміняємо
<i>Блок вакуумних помп (24 год × 190 днів)</i>	
К 20/30 (1 шт.) $Q = 20 \text{ м}^3/\text{год}, H = 30 \text{ м вод.ст.},$ $P_{\text{дв}} = 4 \text{ кВт},$ $\eta_n = 65 \%, \eta_{\text{дв}} = 70 \%$	WILO-II 32/160-3/2 (2 шт.) $Q = 20 \text{ м}^3/\text{год}, H = 29 \text{ м вод.ст.},$ $P_{\text{дв}} = 3 \text{ кВт},$ $\eta_n = 58 \%, \eta_{\text{дв}} = 84 \%$

Споживання електроенергії помпою визначається за формулою:

$$W = 2,72 \cdot 10^{-3} \frac{Q \cdot H}{\eta_n \cdot \eta_{\text{дв}}} T_p,$$

де Q – продуктивність помпи, $\text{м}^3/\text{год}$;

H - напір помпи, м вод.ст.;

η_n - ККД помпи;

$\eta_{\text{дв}}$ - ККД двигуна помпи;

T_p - тривалість роботи помпи на протязі року, год.

Споживання електроенергії помпами:

Для К 100-65-200А (циркуляційної помпи)

$$W = 2,72 \cdot 10^{-3} \frac{90 \cdot 40}{0,6 \cdot 0,7} 12 \cdot 190 = 53157 \text{ кВт} \times \text{год},$$

для WILO-II 80/170-15/2

$$W = 2,72 \cdot 10^{-3} \frac{90 \cdot 38}{0,8 \cdot 0,89} 12 \cdot 190 = 29788,6 \text{ кВт} \times \text{год}.$$

Для КМ 160/20 (циркуляційної помпи)

$$W = 2,72 \cdot 10^{-3} \frac{160 \cdot 20}{0,77 \cdot 0,7} 12 \cdot 190 = 36819 \text{ кВт} \times \text{год},$$

для WILO-II 100/145-11/2

$$W = 2,72 \cdot 10^{-3} \frac{160 \cdot 18}{0,76 \cdot 0,87} 12 \cdot 190 = 27012,4 \text{ кВт} \times \text{год.}$$

Для K 45/30 (циркуляційної помпи гарячого водопостачання)(Зшт.)

$$W = 2,72 \cdot 10^{-3} \frac{45 \cdot 30}{0,7 \cdot 0,7} 16 \cdot 365 = 43764 \text{ кВт} \times \text{год.},$$

для WILO-II 65/160-5,5/2

$$W = 2,72 \cdot 10^{-3} \frac{45 \cdot 32}{0,7 \cdot 0,85} 16 \cdot 365 = 38444 \text{ кВт} \times \text{год.}$$

Для K 65/50-160 (циркуляційної помпи на літній час роботи котла на гаряче водопостачання)

$$W = 2,72 \cdot 10^{-3} \frac{25 \cdot 32}{0,63 \cdot 0,7} 16 \cdot 190 = 15000 \text{ кВт} \times \text{год.},$$

для WILO-II 40/160-4/2

$$W = 2,72 \cdot 10^{-3} \frac{25 \cdot 30}{0,64 \cdot 0,86} 16 \cdot 190 = 11267,4 \text{ кВт} \times \text{год.}$$

Для K 20/30 (вакуумних помп)

$$W = 2,72 \cdot 10^{-3} \frac{20 \cdot 30}{0,64 \cdot 0,7} 24 \cdot 190 = 16611 \text{ кВт} \times \text{год.},$$

для WILO-II 32/160-3/2

$$W = 2,72 \cdot 10^{-3} \frac{20 \cdot 29}{0,58 \cdot 0,84} 24 \cdot 190 = 14766 \text{ кВт} \times \text{год.}$$

Економія електричної енергії внаслідок впровадження енергозберігаючого заходу становитиме:

$$\Delta E = (53157 - 29788,6) + (36819 - 27012,4) + 3 \times (43764 - 38444) + (15000 - 11267,4) + (16611 - 14766) = 56600,2 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

1.4 Висновки до розділу 1

1. У розділі проаналізовано історію створення та еволюцію теплової мережі, яка створює ключову роль у забезпеченні енергетичних потреб міста.

Детально розглядаються процеси введення в експлуатацію котелень, їх модернізація та адаптація до нових вимог.

2. Представлено детальну інформацію про структуру котелень, їхнє компонування та встановлене обладнання. Виділено принципи організації роботи, які відповідають сучасним вимогам енергоефективності та безпеки.

3. Проведено енергетичний аудит котельні по вул. Галицька, 40. Виявлено недоліки в експлуатації старого обладнання, зокрема низький коефіцієнт корисної дії pomp, витoki теплоносія та велике споживання електроенергії.

4. Запропоновано заміну морально застарілих насосів на сучасні високо-ефективні моделі. Це дозволяє суттєво зменшити витрати електроенергії та підвищити надійність роботи теплової системи.

5. Проаналізовано дані про споживання палива та електроенергії за останні роки. Виявлено стабільність вироблення тепла, проте наголошено на необхідність зменшення енергетичних втрат через модернізацію обладнання.

Загалом, розділ показує необхідність подальшого вдосконалення теплових мереж, впровадження сучасних технологій та енергоефективних рішень для підвищення економічної та екологічної ефективності.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Опис об'єкта дослідження

Об'єктом є підприємство - котельня - що виробляє теплову енергію. Отримана теплова енергія використовується для централізованого теплопостачання споживачів мікрорайону «Канада» м. Тернополя.

Котельня розташована за адресою: м. Тернопіль вул. Галицька, 40.

На рисунку 2.1 наведено загальний вигляд котельні та її розташування на карті.



Рисунок 2.1 – Загальний вигляд та розташування котельні Галицька.

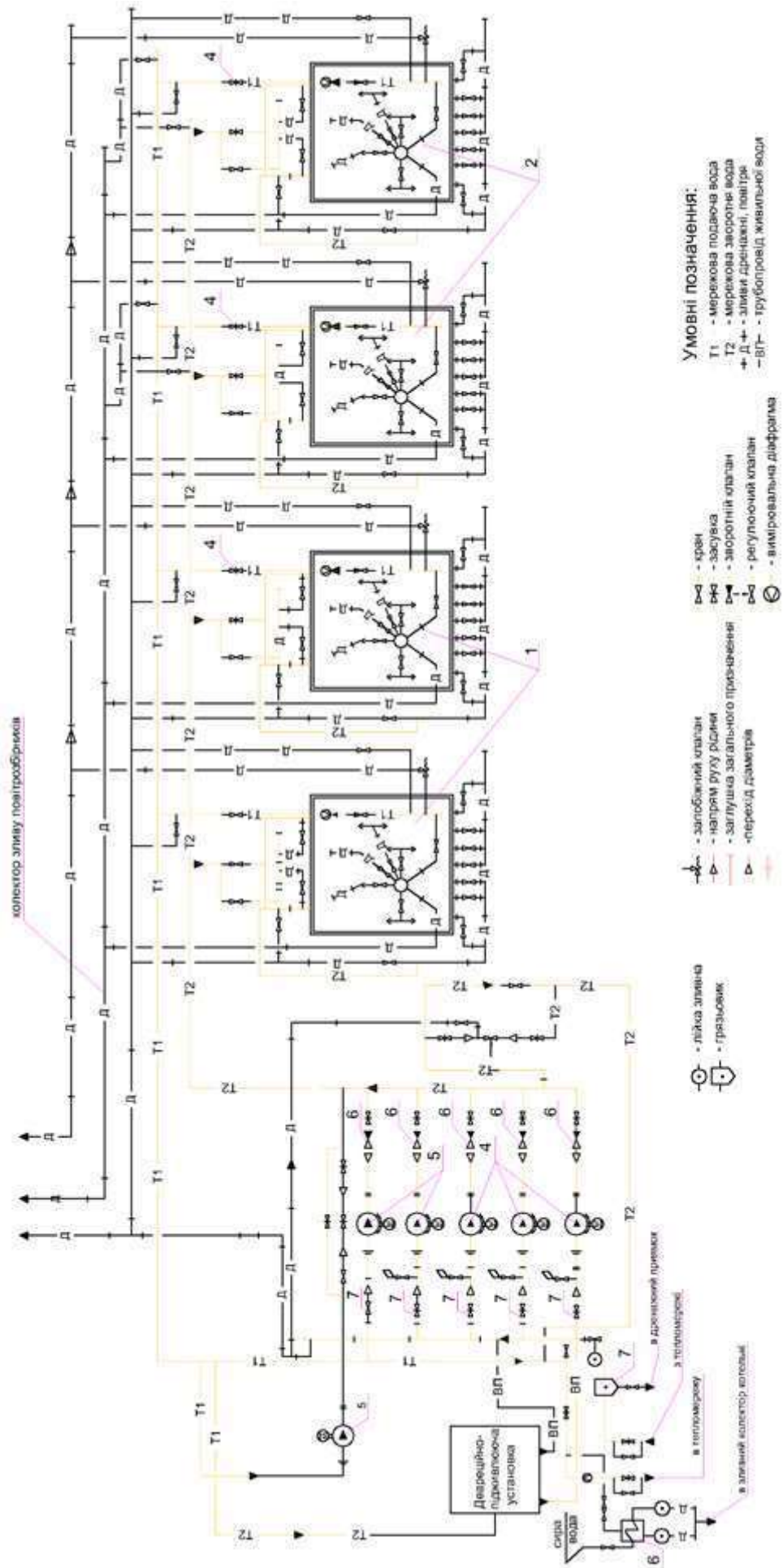


Рисунок 2.2 – Тепломеханічна схема роботи котельні по вул. Галицька, 40.

У технологічному процесі в основному беруть участь механізми, що перекачують, призначені для переміщення повітря, води, конденсату і палива. Для цього на трубопроводах використовуються насоси різної функціональності, конструкцій та потужності.

На досліджуваному об'єкті використовуються:

- димососи;
- вентилятори;
- живильні робочі та підживлювальні насоси;
- насоси сирій води та сольового розчину.

Кожен із насосів має своє призначення в процесі виробництва теплової енергії. Далі подано їх опис.

Димосос служить для видалення продуктів згоряння з топок.

Вентилятори застосовується для забезпечення постійного надходження свіжого повітря та оптимізації процесу горіння.

Живильні робочі насоси на котельні мають найбільші розміри та продуктивність і служать для подачі теплоносія споживачам.

Підживлювальний насос служить для заповнення котла у тій кількості, яка була витрачена на виробництво теплоносія.

Насоси подачі сирій води використовуються в системі хімводопідготовки. Їх завдання зробити забір води з бака сирій води та направити її для хімічного очищення від солей.

Насоси вихідної води повинні забезпечити максимальну витрату хімічно очищеної води для живлення котлів.

Підживлювальний насос обслуговує теплофікаційну установку в тепловій схемі котельні та призначений для поповнення витоків води з магістральної мережі.

Сольовий насос використовується для перекачування сольового розчину. Застосування солі для котелень допомагає тривалий час підтримувати обладнання у хорошому робочому стані за рахунок пом'якшення води.

Електроприймачі об'єднуватимуться в окремі вузли обліку, залежно від

участі у технологічному процесі та від способу отримання даних про електроспоживання.

На відміну від теплових електростанцій (ТЕС), котельня виробляє лише теплову енергію, тому для потреб об'єкта використовується зовнішнє електропостачання.

Електропостачання котельні здійснюється від міських електричних мереж потужністю 0,4 кВ, а зокрема від трансформаторної підстанції підстанції 110/10 кВ «Галицька».

Генеральний план та електричну схему підстанції зображено на рисунках 2.3 і 2.4.

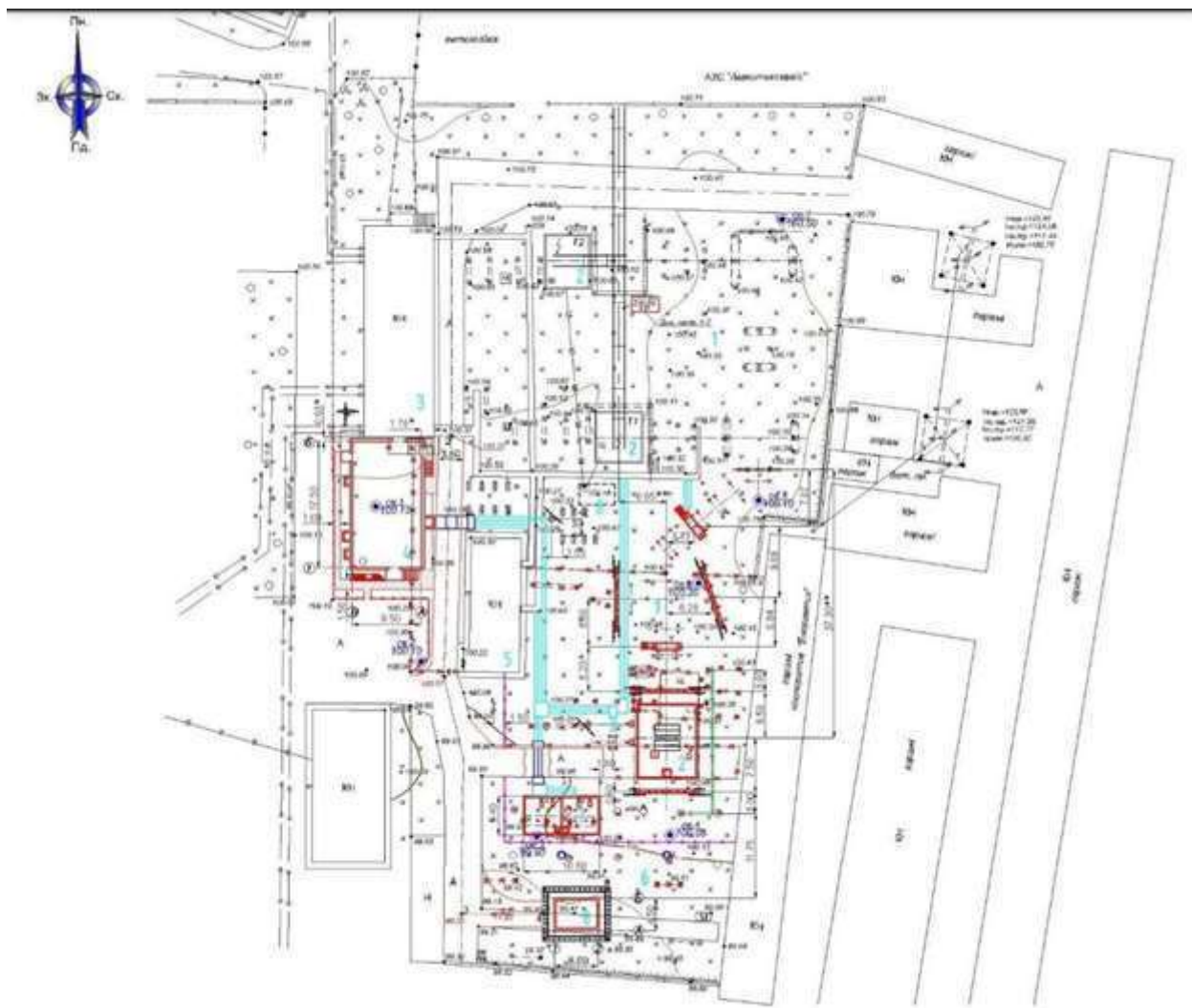
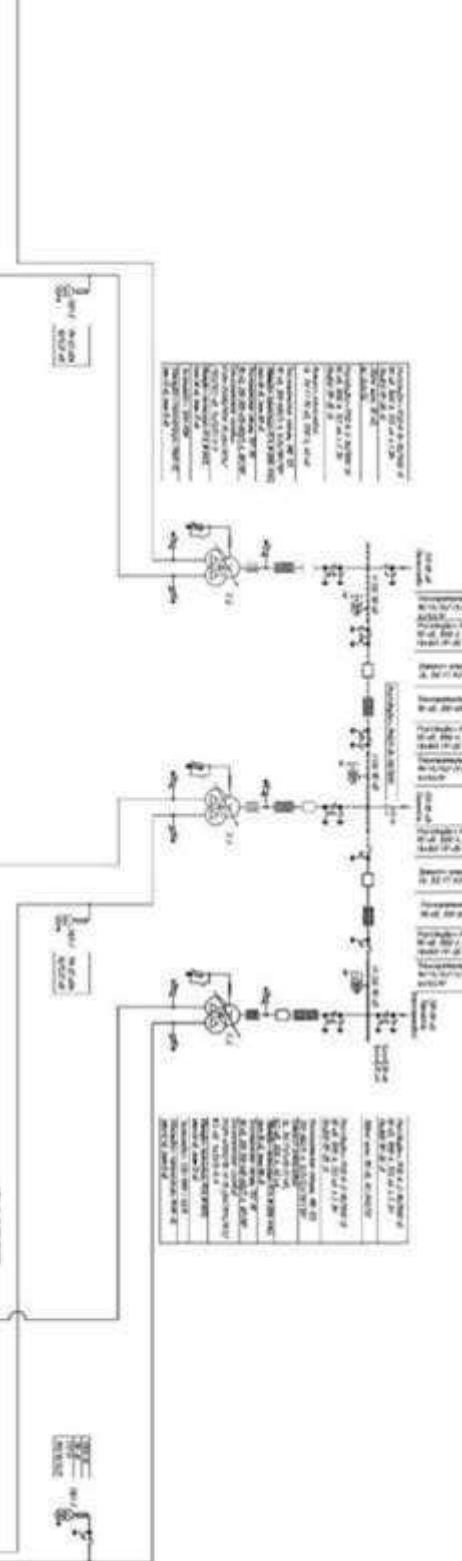


Рисунок 2.3 – План підстанції 110/10 кВ «Галицька».



REKAM RUMAH			REKAM RUMAH			REKAM RUMAH			REKAM RUMAH		
No.	Nama	Alamat	No.	Nama	Alamat	No.	Nama	Alamat	No.	Nama	Alamat
1	...	...	1	...	...	1	...	...	1	...	...
2	...	...	2	...	...	2	...	...	2	...	...
3	...	...	3	...	...	3	...	...	3	...	...
4	...	...	4	...	...	4	...	...	4	...	...
5	...	...	5	...	...	5	...	...	5	...	...
6	...	...	6	...	...	6	...	...	6	...	...
7	...	...	7	...	...	7	...	...	7	...	...
8	...	...	8	...	...	8	...	...	8	...	...
9	...	...	9	...	...	9	...	...	9	...	...
10	...	...	10	...	...	10	...	...	10	...	...
11	...	...	11	...	...	11	...	...	11	...	...
12	...	...	12	...	...	12	...	...	12	...	...
13	...	...	13	...	...	13	...	...	13	...	...
14	...	...	14	...	...	14	...	...	14	...	...
15	...	...	15	...	...	15	...	...	15	...	...
16	...	...	16	...	...	16	...	...	16	...	...
17	...	...	17	...	...	17	...	...	17	...	...
18	...	...	18	...	...	18	...	...	18	...	...
19	...	...	19	...	...	19	...	...	19	...	...
20	...	...	20	...	...	20	...	...	20	...	...
21	...	...	21	...	...	21	...	...	21	...	...
22	...	...	22	...	...	22	...	...	22	...	...
23	...	...	23	...	...	23	...	...	23	...	...
24	...	...	24	...	...	24	...	...	24	...	...
25	...	...	25	...	...	25	...	...	25	...	...
26	...	...	26	...	...	26	...	...	26	...	...
27	...	...	27	...	...	27	...	...	27	...	...
28	...	...	28	...	...	28	...	...	28	...	...
29	...	...	29	...	...	29	...	...	29	...	...
30	...	...	30	...	...	30	...	...	30	...	...
31	...	...	31	...	...	31	...	...	31	...	...
32	...	...	32	...	...	32	...	...	32	...	...
33	...	...	33	...	...	33	...	...	33	...	...
34	...	...	34	...	...	34	...	...	34	...	...
35	...	...	35	...	...	35	...	...	35	...	...
36	...	...	36	...	...	36	...	...	36	...	...
37	...	...	37	...	...	37	...	...	37	...	...
38	...	...	38	...	...	38	...	...	38	...	...
39	...	...	39	...	...	39	...	...	39	...	...
40	...	...	40	...	...	40	...	...	40	...	...
41	...	...	41	...	...	41	...	...	41	...	...
42	...	...	42	...	...	42	...	...	42	...	...
43	...	...	43	...	...	43	...	...	43	...	...
44	...	...	44	...	...	44	...	...	44	...	...
45	...	...	45	...	...	45	...	...	45	...	...
46	...	...	46	...	...	46	...	...	46	...	...
47	...	...	47	...	...	47	...	...	47	...	...
48	...	...	48	...	...	48	...	...	48	...	...
49	...	...	49	...	...	49	...	...	49	...	...
50	...	...	50	...	...	50	...	...	50	...	...

REKAM RUMAH			REKAM RUMAH			REKAM RUMAH			REKAM RUMAH		
No.	Nama	Alamat	No.	Nama	Alamat	No.	Nama	Alamat	No.	Nama	Alamat
1	...	...	1	...	...	1	...	...	1	...	...
2	...	...	2	...	...	2	...	...	2	...	...
3	...	...	3	...	...	3	...	...	3	...	...
4	...	...	4	...	...	4	...	...	4	...	...
5	...	...	5	...	...	5	...	...	5	...	...
6	...	...	6	...	...	6	...	...	6	...	...
7	...	...	7	...	...	7	...	...	7	...	...
8	...	...	8	...	...	8	...	...	8	...	...
9	...	...	9	...	...	9	...	...	9	...	...
10	...	...	10	...	...	10	...	...	10	...	...
11	...	...	11	...	...	11	...	...	11	...	...
12	...	...	12	...	...	12	...	...	12	...	...
13	...	...	13	...	...	13	...	...	13	...	...
14	...	...	14	...	...	14	...	...	14	...	...
15	...	...	15	...	...	15	...	...	15	...	...
16	...	...	16	...	...	16	...	...	16	...	...
17	...	...	17	...	...	17	...	...	17	...	...
18	...	...	18	...	...	18	...	...	18	...	...
19	...	...	19	...	...	19	...	...	19	...	...
20	...	...	20	...	...	20	...	...	20	...	...
21	...	...	21	...	...	21	...	...	21	...	...
22	...	...	22	...	...	22	...	...	22	...	...
23	...	...	23	...	...	23	...	...	23	...	...
24	...	...	24	...	...	24	...	...	24	...	...
25	...	...	25	...	...	25	...	...	25	...	...
26	...	...	26	...	...	26	...	...	26	...	...
27	...	...	27	...	...	27	...	...	27	...	...
28	...	...	28	...	...	28	...	...	28	...	...
29	...	...	29	...	...	29	...	...	29	...	...
30	...	...	30	...	...	30	...	...	30	...	...
31	...	...	31	...	...	31	...	...	31	...	...
32	...	...	32	...	...	32	...	...	32	...	...
33	...	...	33	...	...	33	...	...	33	...	...
34	...	...	34	...	...	34	...	...	34	...	...
35	...	...	35	...	...	35	...	...	35	...	...
36	...	...	36	...	...	36	...	...	36	...	...
37	...	...	37	...	...	37	...	...	37	...	...
38	...	...	38	...	...	38	...	...	38	...	...
39	...	...	39	...	...	39	...	...	39	...	...
40	...	...	40	...	...	40	...	...	40	...	...
41	...	...	41	...	...	41	...	...	41	...	...
42	...	...	42	...	...	42	...	...	42	...	...
43	...	...	43	...	...	43	...	...	43	...	...
44	...	...	44	...	...	44	...	...	44	...	...
45	...	...	45	...	...	45	...	...	45	...	...
46	...	...	46	...	...	46	...	...	46	...	...
47	...	...	47	...	...	47	...	...	47	...	...
48	...	...	48	...	...	48	...	...	48	...	...
49	...	...	49	...	...	49	...	...	49	...	...
50	...	...	50	...	...	50	...	...	50	...	...



Таблиця 2.1 – Перелік та технічна характеристика електрообладнання встановленого на котельні по вул. Галицька, 40.

№	Перелік електрообладнання	Марка	Тип електродвигуна	Число обертів (об/хв.)	Струм. тах, А.	Потужність, кВт	Кількість годин роботи на рік
1	Робочий насос №1	ЦНСГ 40/178	5A225M2Y3	2950	170	55	8352
2	Робочий насос №2	ЦНСГ 60/198	4A225M2Y3	2950	170	55	
3	Робочий насос №3	ЦНСГ 60/198	5A225M2Y3	2950	173	55	
4	Мережевий насос №1	Д-630	4AM280M-4Y31P23	1470	285	160	8352
5	Мережевий насос №2	Д-520	5AMH280M4Y3	1485	291	160	
6	Мережевий насос №3	Д-320	A250S4Y3	1470	137	75	
7	Підживлювальний насос №1	До 45/30	AP112M2Y2	2860	14,76	7,5	8352
8	Підживлювальний насос №2	До 45/30	APM112M2Y3	2895	15	7,5	
9	Підживлювальний насос №3	До 90/20	MO160M-2	2925	50	18,5	
10	Насос сиріої води №1	KM 80/50	5A160S2ЖУ2	2920	28,5	15	100
11	Насос сиріої води №2	KM 80/50	5A160S2ЖУ2	2920	28,5	15	
12	Сольовий насос №1	KMMX 80/65	5AMX132M2Y3	2910	21,8	11	80
13	Сольовий насос №2	KMMX 80/65	5AMX132M2Y3	2910	21,8	11	
14	Насос вихідної води №1	До 80/65-160	AP132M2	2910	21,8	11	8352

В таблиці 2.1 наведено детальний перелік електрообладнання яке працює на котельні та його технічні характеристики.

Наявність великої кількості електродвигунів, які є основними споживачами електроенергії, та технологічні особливості роботи котельних установок потребують серйозних заходів щодо оптимізації споживання електроенергії.

Саме тому основним завданням цієї КР є розробка системи обліку електроенергії з можливістю накопичення даних та віддаленого доступу до них як основного напрямку розвитку та оптимізації системи електропостачання підприємства. Цей напрямок розвитку активно підтримується власником підприємства, який перебуває на віддаленні від об'єкта автоматизації і може оперативно контролювати події, що відбуваються на ньому. Саме тому одним із основних завдань, розглянутих у роботі, є завдання віддаленого доступу до системи обліку електропостачання котельні селища.

З таблиці випливає, що частина обладнання працює практично весь рік із зупинкою на поточний ремонт, причому споживана потужність цього обладнання дуже велика.

2.2 Аналіз витрат на електричну енергію

Проводячи витрат електричної енергії на котельні було використано дані за 2020 - 2023 рік.

Таблиця 2.2

Характеристика споживання електроенергії на котельні

Найменування показників	Один. виміру	Роки			
		2020	2021	2022	2023
Вироблено тепла	Гкал	28832,8	28869,2	28792,3	28758
Спожито електричної енергії	тис. кВт·год	1441,6	1443,4	1439,6	1437,9

За формулою 2.1 проведемо розрахунок витрат на електроенергію:

$$З = W \cdot з \quad (2.1)$$

де W - споживання електричної енергії за рік, $MBm \cdot год$;

$з$ - вартість електричної енергії $грн/MBm \cdot год$.

За формулою 2.1 проведемо розрахунок витрат на електроенергію за 2020 - 2023 роки:

За 2020 рік:

$$З = 1441,600 \cdot 894,31 = 1\,289\,237 \text{ грн};$$

За 2021 рік:

$$З = 1443,400 \cdot 1340,82 = 1\,935\,339,588 \text{ грн};$$

За 2022 рік:

$$З = 1439,600 \cdot 1312,21 = 1\,889\,057,516 \text{ грн};$$

За 2023 рік:

$$З = 1437,900 \cdot 1893,94 = 2\,723\,296,326 \text{ грн};$$

Проведені розрахунки дозволять нам порівняти ефективність впровадження системи обліку та запропонованих методів економії електричної енергії в процесі експлуатації електрообладнання котельні.

2.3 Необхідність впровадження автоматизованої системи обліку елект-ричної енергії на теплогенеруючому підприємстві

Облік електроенергії призначений для отримання інформації про параметри електроспоживання. Насамперед ці дані використовуються для розрахунку з постачальниками електроенергії. Також інформація про споживання відображає відповідність рівня споживання електроенергії до запланованого. Дані використовуються визначення норм споживання на підприємстві та для обґрунтування організації заходів щодо енерго-ефективності споживання. Облік електроенергії передбачає як контроль

над споживаної енергією, а й за виробленої, якщо підприємство виробляє її.

Облік електроенергії поділяють на комерційний та технічний. Комерційний відповідно використовується для розрахунку з постачальниками електроенергії. Вартість споживання одиниці енергії встановлена тарифами енергопостачальної організації. Тарифи відрізняються за видом споживача та тарифікацією за добовими зонами. Зазвичай вартість електроенергії в нічний час доби нижча. Причина цього - низьке завантаження на мережу вночі.

Технічний облік впроваджують та використовують для отримання інформації про електроспоживання на підприємстві. Такий облік дозволяє розділити споживання електроенергії за різними видами навантаження та рівнями всередині підприємства для отримання загальної картини навантаження обладнанням. Виміряні дані використовуються всередині підприємства технологами чи інженерами. Дані знімають та формують записи кожен певний проміжок часу (кожну годину, добу, тижні, місяці). У будь-який час до них може звернутися працівник підприємства та зробити висновки про споживання електроенергії та використовувати їх для організації подальшої оптимізації технологічного процесу та енергоспоживання.

Основною вимогою для підвищення енергоефективності обладнання котельні є визначення величини споживання електроенергії в даний момент або вибраний період. І тому досить організувати технічний облік споживання.

Передбачається, що такий облік забезпечуватиме накопичення даних про витрати електроенергії:

- кожну годину на добу;
- кожну добу на місяць;

- щомісяця на рік.

Отримані значення будуть достатніми для оптимізації електроспоживання в рамках процесу виробництва теплоенергії. Що дозволить зменшити споживання електричної енергії, а у підсумку робити висновки про необхідність довантаження або розвантаження електроустановок. Також технічний облік дозволяє аналізувати ефективність роботи об'єктів та зіставляти їх із фактичною продуктивністю (наприклад, витрата теплоносія). І потім розробити комплекс відповідних заходів.

Для обраного об'єкта необхідний сучасний комплекс технічного контролю та обліку електроенергії, який має забезпечувати виконання низки вимог:

- збирання даних про електроспоживання як з однієї, так і з кількох точок;
- обробка отриманої інформації;
- формування звіту та архіву отриманої інформації;
- передача сформованого звіту для зберігання та обробки даних;
- контроль параметрів якості електроенергії;
- дистанційне конфігурування лічильників електроенергії.

2.4 Вибір технічних засобів для реалізації проекту

2.4.1 Вибір лічильника електричної енергії

Прикладом вибору є трифазний лічильник електричної енергії NIK 2301 загальний вигляд якого показано на рисунку 2.5. Технічні характеристики лічильника наведені в таблиці 2.3.

Базова величина вимірюваного струму - 5 А, з чого випливає необхідність використання вимірювальних трансформаторів струму.



Рисунок 2.5 – Лічильник електричної енергії NIK 2301 AT.0000.0.11

Таблиця 2.3.

Технічні характеристики лічильника

Клас точності за ДСТУ EN 62053-21, ДСТУ EN 62052-11	1,0
Клас точності за ДСТУ EN 50470-1, ДСТУ EN 50470-3	B
Номінальна напруга, U_n , В	3×220/380
Допустимі відхилення напруги, % від U_n	від мінус 20 до плюс 15
Початкова сила струму, I_{st} , А	0,001
Мінімальна сила струму, I_{min} , А	0,05
Перехідна сила струму, I_{tr} , А	0,25
Номінальна сила струму, I_n , А	5
Максимальна сила струму, I_{max} , А	10
Номінальна частота, Гц	50
Чутливість, мА	10
Споживана потужність: в колах напруги, В·А (Вт); в колах струму ($I = I_n$), В·А	не більше 10 (2) не більше 0,05
Кількість розрядів лічильного пристрою	6+1
Става випробувального виходу, імп/кВт·год	8000
Става додаткового виходу, імп/кВт·год	2000
Тривалість імпульсів, мс	80
Міжповірочний інтервал	6 років
Діапазон температури: робочий; зберігання	від мінус 40 °С до плюс 70 °С від мінус 40 °С до плюс 70 °С
Відносна вологість	< 95 % при 30 °С

2.4.2 Вибір трансформаторів струму

В залежності від вимог до об'єкта обліку електроенергії, розрахункових струмів проводиться вибір трансформаторів струму.

Нами запропоновано трансформатор струму ІЕК ТТІ-А 120/5А 5ВА клас 0,5S, загальний вигляд якого наведено на рисунку 2.6.

Вибір здійснювався за основними параметрами:

- необхідний клас точності;
- струм первинний;
- струм вторинний;
- спосіб установки на струмоведучу частину (з шиною або на провідник).



Рисунок 2.6 – Загальний вигляд трансформатора струму

Запропоновані трансформатори струму мають конструктивну шину для з'єднання з провідником через болтове з'єднання. На рисунку 2.7 наведено схему підключення електричного лічильника через трансформатори струму.

Зниження тиску відбувається за рахунок засувки, встановленої після насоса. Таким чином, насос працює на закриту засувку, при цьому витрачається значна частина електроенергії марно. Тривалі практичні спостереження за положенням клапанів (засувок) для різних електроагрегатів показали, що в середньому вони відкриті не більше ніж на 50%.

Для усунення невиробничих витрат у цій роботі пропонується перейти на частотне регулювання продуктивності насосів, НС та ДС, що суттєво вплине на витрати на електричну енергію і дозволить відмовитись від клапанів (засувок), та перейти в ощадливі режими роботи насосного обладнання.

Запропонована схема частотного регулювання буде мати вигляд як на рисунку 2.9.

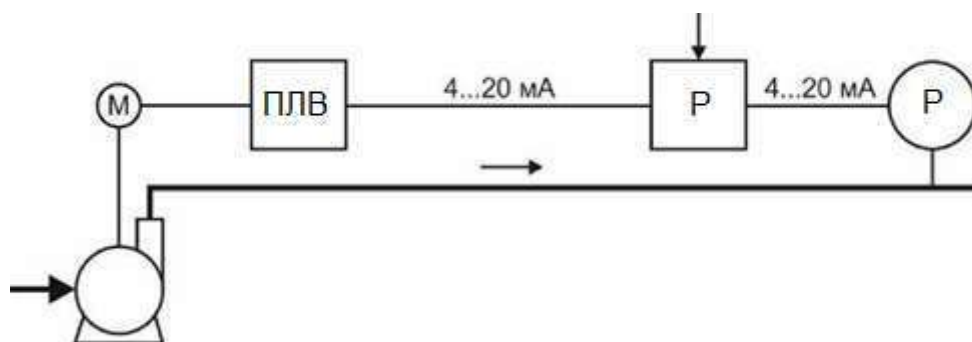


Рисунок 2.9 – Контур регулювання тиску з ПЛВ

Перетворювач частоти захищає електродвигун, зменшує навантаження на мережу, знижує споживання енергії. Використання перетворювачів частоти в таких системах дозволяє не лише оптимізувати технологічний процес, а й економити значні кошти.

Тому, у складі системи керування процесом виробництва теплоенергії, передбачається використання частотних перетворювачів для керування електрорухомим навантаженням.

Веспер EI-P7012 – спеціалізований перетворювач, призначений для керування трифазними асинхронними двигунами, рисунок 2.10.



Рисунок 2.10 – Зовнішній вигляд частотного перетворювача Веспер EI-P7012

Потужність ряду частотних перетворювачів EI-P7012 становить від 7,5 кВт до 370 кВт. Конструкція перетворювачів серії EI-P7012 призначена для відкритого навісного настінного монтажу.

Програмування та контроль роботи перетворювача здійснюється за допомогою вбудованого пульта керування з рідкокристалічним дисплеєм. Також, керування, контроль стану, читання та встановлення констант можливе по послідовній лінії зв'язку RS-485.

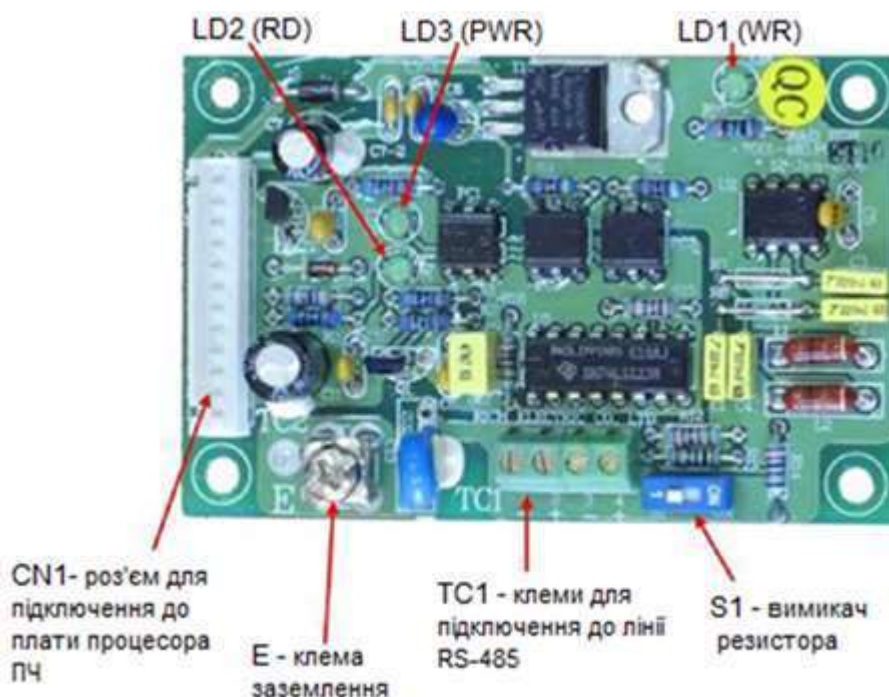


Рисунок 2.11 – Модуль PCB-RS485A-1

Стандартна модифікація ПЧ Веспер немає інтерфейсного модуля тому

додатково укомплектовується модулем PCB-RS485A-1, призначеним для роботи у складі перетворювача частоти і забезпечує можливість керування ПЧ від контролера по послідовній лінії зв'язку RS-485 і протоколом MODBUS. Загальний вигляд плати модуля зв'язку представлено на рисунку 2.11.

Необхідність використання ПЧ Веспер обґрунтована відсутністю у частотних перетворювачів ПЛК модифікації великої потужності. Лінійка ПЛВ має пристрої з максимальною потужністю лише 90 кВт. Насос мережевий №1 має потужність 160 кВт. Для такого навантаження вибираємо потужніший насосний ПЧ фірми Веспер, модель EI-P7012.

Дані про вибрані частотні перетворювачі певної модифікації та потужності представлені в таблиці 2.4. Потужність ПЧ визначається технічними характеристиками підключених електродвигунів.

Таблиця 2.4

Вибір частотних перетворювачів

№ вузла	Електрообладнання	Потужність, кВт	ПЧ
1	Димосос №1	45	ПЧВ3-45К-В
	Вентилятор №1	11	ПЧВ3-11К-В
2	Димосос №2	30	ПЧВ3-30К-В
	Вентилятор №2	11	ПЧВ3-11К-В
3	Димосос №3	75	ПЧВ3-75К-В
	Вентилятор №3	22	ПЧВ3-22К-В
4	Насос мережевий №1	160	Vesper EI-P7012
	Насос підживлювальний №1	7,5	ПЧВ3-7К5-В
5	Основний насос №1	55	ПЧВ3-55К-В
	Основний насос №2	55	ПЧВ3-55К-В

Таким чином, наявність можливості визначення поточного рівня споживання електроенергії та наявність інтерфейсу передачі в частотних перетворювачах дозволяє здійснювати збір показників за допомогою зовнішніх контролерів. І з їхньою допомогою далі здійснювати підрахунок отриманих даних, накопичення, здійснювати математичні операції.

2.6 Вибір програмовано – логічних контролерів

2.6.1 Контролер WAGO I/O-SYSTEM 750-882

Для вирішення завдання збору даних про електроспоживання з частотних перетворювачів та електролічильників по лінії RS-485 використовується програ-мований логічний контролер (ПЛК) з наявністю необхідних інтерфейсів зв'язку.

Для визначення використовуваного контролера розглянемо варіанти від різних виробників. Перший – WAGO (Німеччина), другий – ПЛК 150 (Україна). Розглянемо технічні особливості і після цього зробимо вибір одного з варіантів.

Перевагами пристрою є:

- ✓ Вбудований Веб-інтерфейс з доступом за адресою IP ;
- ✓ Низька вартість (наприклад, щодо ПЛК виробництва Siemens);
- ✓ Відповідність стандарту МЕК 61131-3 – використання середовища програмування CODESYS;
- ✓ Засоби розробки візуалізації на HTML5;
- ✓ Кріплення DIN-рейку.

WAGO-I/O-SYSTEM 750-882 ETHERNET ПЛК використовується в мережах ETHERNET для забезпечення швидкого та надійного резервування середовища передачі. ПЛК підтримує всі дискретні, аналогові та спеціальні модулі, що входять до серії 750/753, та підтримує швидкість передачі даних у 10/100 Мбіт/с. Зовнішній вигляд пристрою представлено рисунку 2.12.



Рисунок 2.12 – Контролер WAGO 750-882

Резервування середовища передачі забезпечується шляхом використання контролера у двох окремих мережах, в яких доступ до нього здійснюється за двома різними IP-адресами (включаючи два MAC-ідентифікатори). Перехресна комунікація між окремими каналами неможлива. Два роздільні узгоджувальні пристрої ETHERNET дозволяють виконувати резервне з'єднання з двома каналами передачі даних (концентратор або маршрутизатор не потрібний). Контролер резервування середовища передачі призначений передачі даних по польової шині через MODBUS/TCP у мережах ETHERNET. Також він підтримує широкий перелік стандартних протоколів ETHERNET (наприклад, HTTP, BootP, DHCP, DNS, FTP). Інтегрований веб-сервер надає користувачеві можливість виконувати конфігурацію та отримувати інформацію про стан від контролера. Цю особливість можна використовувати для збору даних про електроспоживання підключеного електроустаткування безпосередньо з доступом по IP.

Для отримання даних про значення спожитої електроенергії від ПЛК за інтерфейсом RS485 необхідно використання інтерфейсного модуля.



Рисунок 2.13 – Модуль інтерфейсу RS-485

Для систем, що розробляються на основі ПЛК WAGO, можливе використання програмного забезпечення WAGO e!COCKPIT

ПЗ дозволяє здійснити швидкий запуск систем, скорочує час розробки проектів автоматизації. Ядром системи є CODESYS 3, який забезпечує просте та універсальне створення додатків. ПЗ містить вбудований редактор візуалізацій, який може використовуватися для створення графіки контролю процесу роботи.

2.6.2 Контролер ПЛК 150

Другий варіант ПЛК представлений програмовано логічним контролером ПЛК150, контакти вигляд якого показано на рисунку 2.14.



Рисунок 2.14 – Загальний вигляд і контакти ПЛК 150

Основними причинами такого вибору ПЛК150 є:

- низька вартість;
- наявність технічної підтримки виробника;
- переважна кількість пристроїв автоматизації на об'єкті
- виробництва;
- спрощується робота з постачальником обладнання - формування

замовлення для ПЛК150.

2.7 Вибір програмного комплексу для реалізації системи обліку електроенергії

Оскільки вибір зупинився на контролерах фірми, для програмування та конфігурування ПЛК використовуємо програмний комплекс CODESYS, що постачається в комплекті.

Для візуалізації відбору даних з обліку електроспоживання, взаємодії з оператором та подальшою можливістю віддаленого доступу через Internet використовуємо SCADA пакет «SIMPLE-SCADA»

Особливості:

- ✓ клієнт-серверна архітектура;
- ✓ Web-клієнт;
- ✓ робота із СУБД MySQL, MS SQL Server;
- ✓ система звітів;
- ✓ гнучка система прав користувачів.

Вибір даного пакету SCADA заснований на можливості роботи з сервером CODESYS OPC, простого механізму візуалізації, а також вбудованого веб-клієнта. Для веб-доступу необхідна наявність виділеної IP- адреси та конфігурування SCADA клієнта.

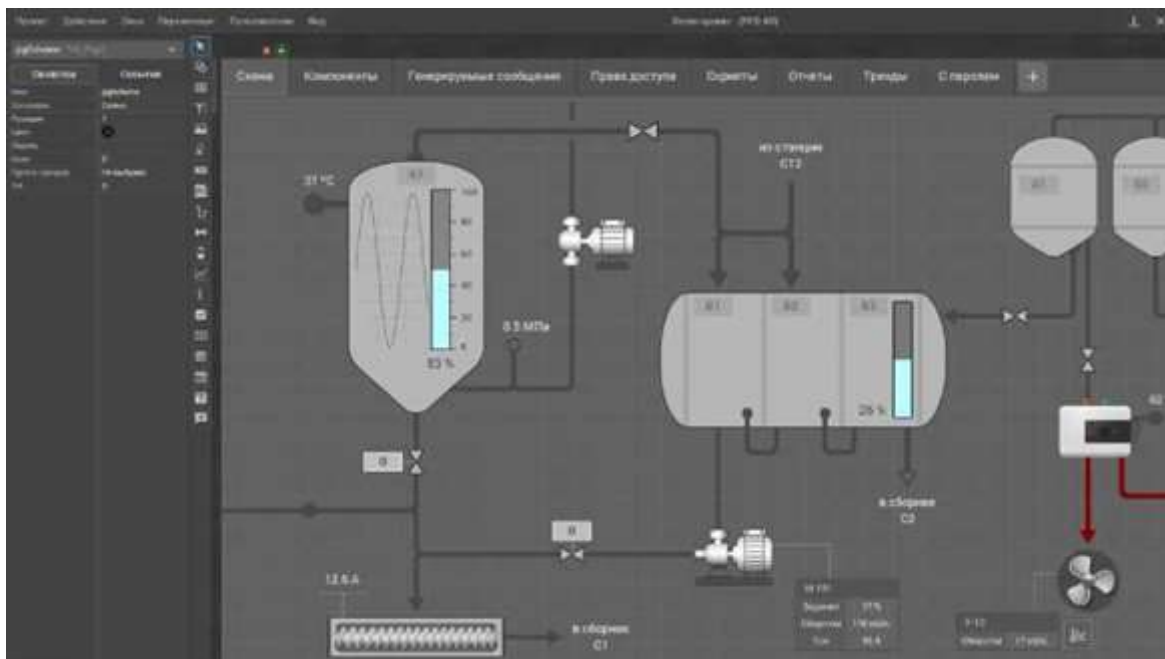


Рисунок 2.15 – Вікно редактора із відкритим стандартним демо-проектом

Після налаштування налаштувань можна до сервера SIMPLE SCADA підключатися через браузер. В адресному полі браузера необхідно ввести адресу сервера та вказати проект, до якого потрібно підключитися.

Виділену IP адресу можна отримати у будь-якого інтернет-провайдера, надає послуги на території м. Тернопіль, авторизацією користувача при зверненні до системи SCADA. Структурну схему системи обліку наведено на рисунку 2.16.

Впровадження системи обліку електроенергії у функціонуюче підприємство тягне за собою зміну схем електричних з'єднань. Для електро-двигунів, що працюють під керуванням перетворювачів частоти в схему, додаються електричні з'єднання силової частини ПЧ. Структурна схема представлена рисунку 2.17.

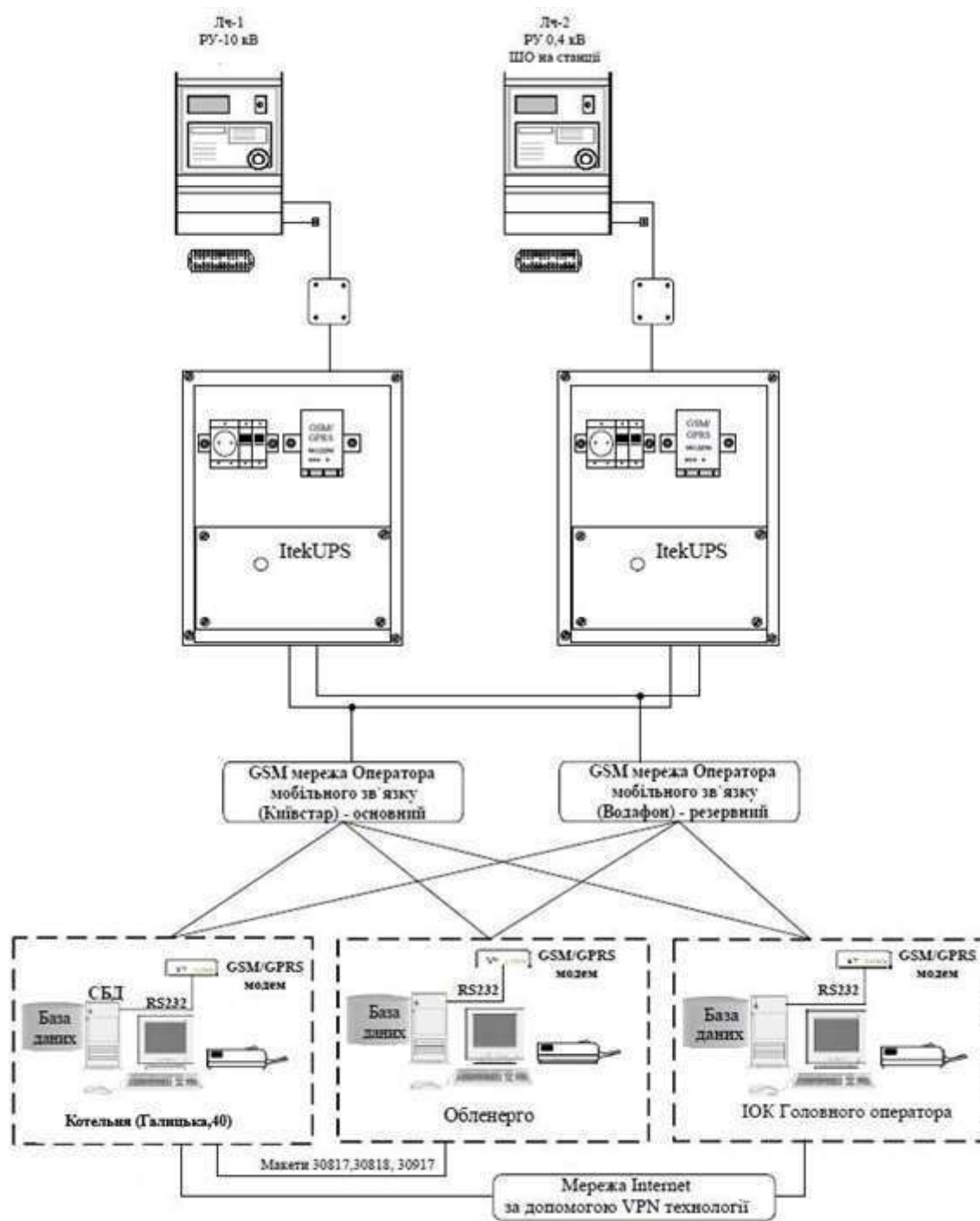


Рисунок 2.16 – Структурна схему системи обліку



Рисунок 2.17 – Структурна схема включення ПЧ до електродвигуна

Для електрообладнання, запуск яких відбувається пусками, розрив кола здійснюють трансформатори струму. Схеми включення трансформаторів струму допускають їх використання двох фазах при симетричній навантаженні. Структурна схема представлена малюнку 2.18.



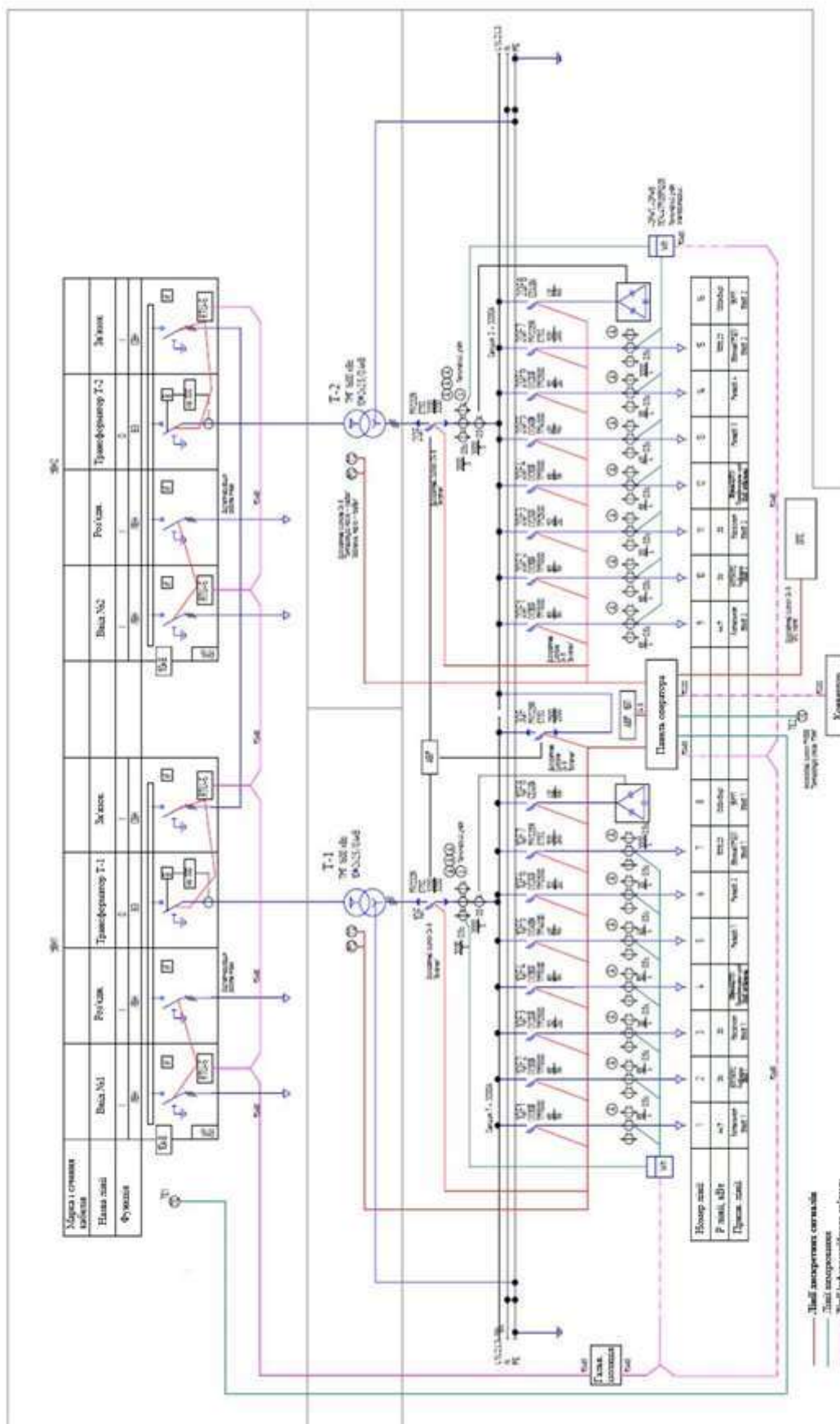
Рисунок 2.18 – Структурна схема підключення лічильників електроенергії

2.8 Схема автоматизації контролю та обліку електричної енергії

На рисунку 2.19 наведено схема автоматизації контролю та обліку електричної енергії.

2.8.1 Схеми підключення лічильників електричної енергії

На рисунку 2.20 представлено схему підключення лічильника електричної енергії, відповідно до технічної документації.



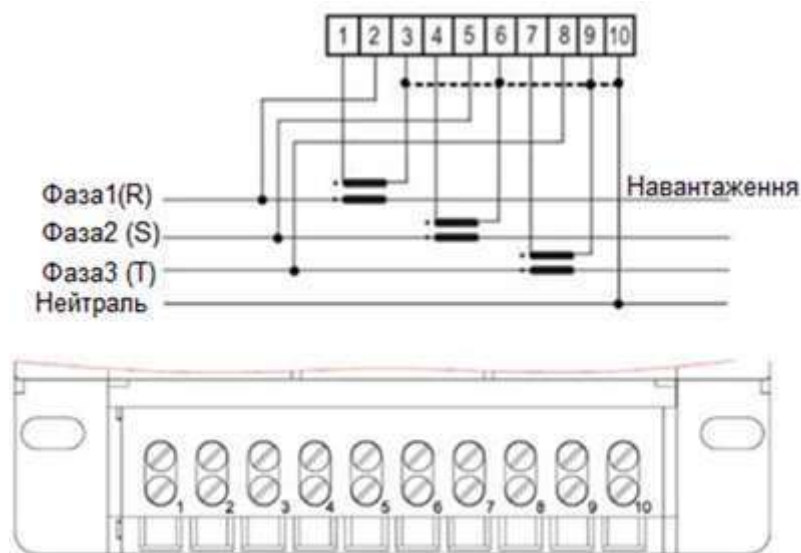


Рисунок 2.20 – Позначення контактів лічильника та схема підключення з ви
струму

Подальші монтажні роботи пов'язані з організацією зв'язку з ПЛК.

Роботи з прокладання лінії зв'язку виконуються з особливостями та рекомендованої топології мережі RS485. На рисунку 2.21 зображено контакти інтерфейсної колодки.

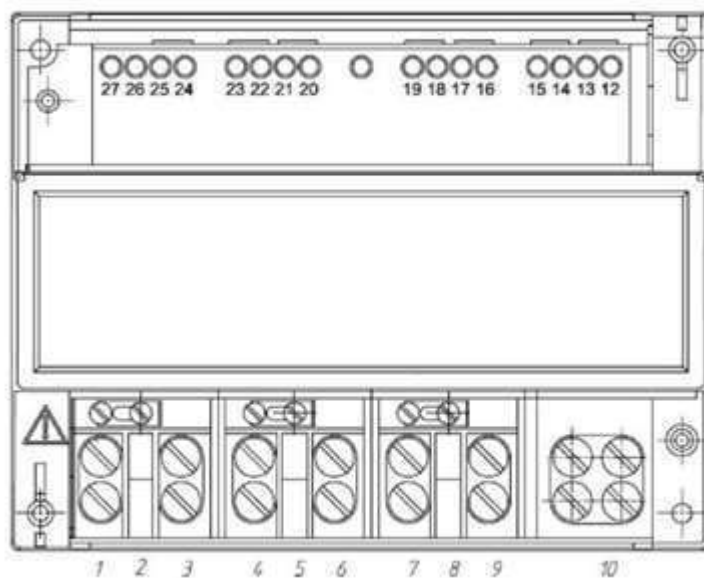


Рисунок 2.21 – Позначення контактів лічильника

Контакти №15, 14 використовуються для підключення зовнішнього блока живлення 9 , 100 мА, «-» і «+», відповідно.

Контакти №13, 12 – сигнали «В» та «А» підключення інтерфейсу RS485.

2.8.2 Схеми підключення частотних перетворювачів

Загальні принципи підключення частотних перетворювачів EI-P7012 ґрунтуються на пофазному з'єднанні провідників між електродвигуном та мережею. Для живлення електроніки потрібне включення нейтралі. Також встановлюються захисні апарати необхідного номіналу та селективності.

На рисунку 2.22 зображено схему електричних з'єднань перетворювача частоти. Контакти №69, 68 – сигнали «В» та «А» підключення інтерфейсу RS485.

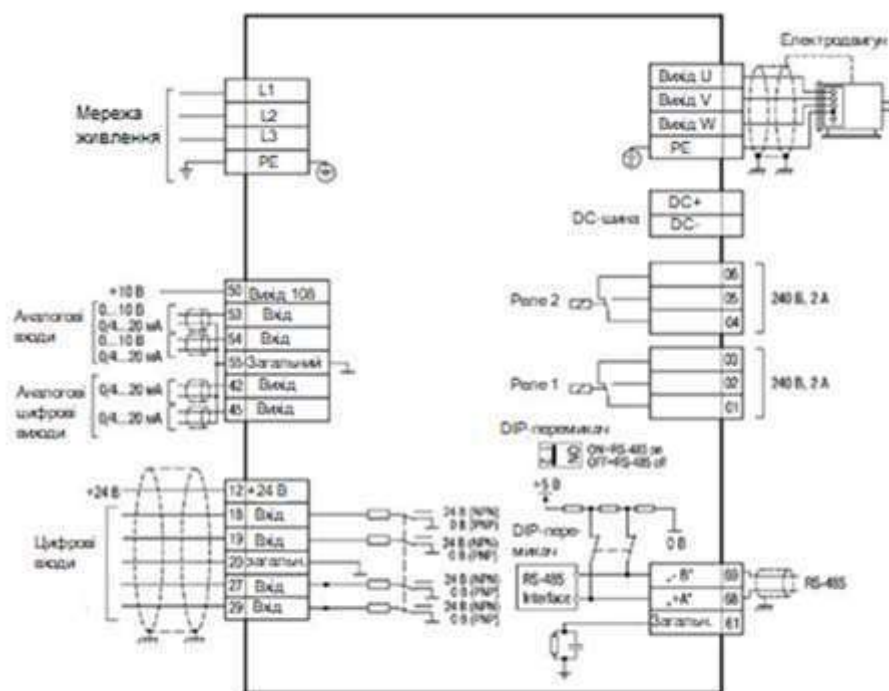


Рисунок 2.22 – Схема електричних з'єднань частотного перетворювача

Для частотного перетворювача Веспер EI-P7012 попередньо встановлюється інтерфейсний модуль. На модулі є клема для підключення до лінії RS485, з позначеннями «-» і «+», для підключення відповідних провідників.

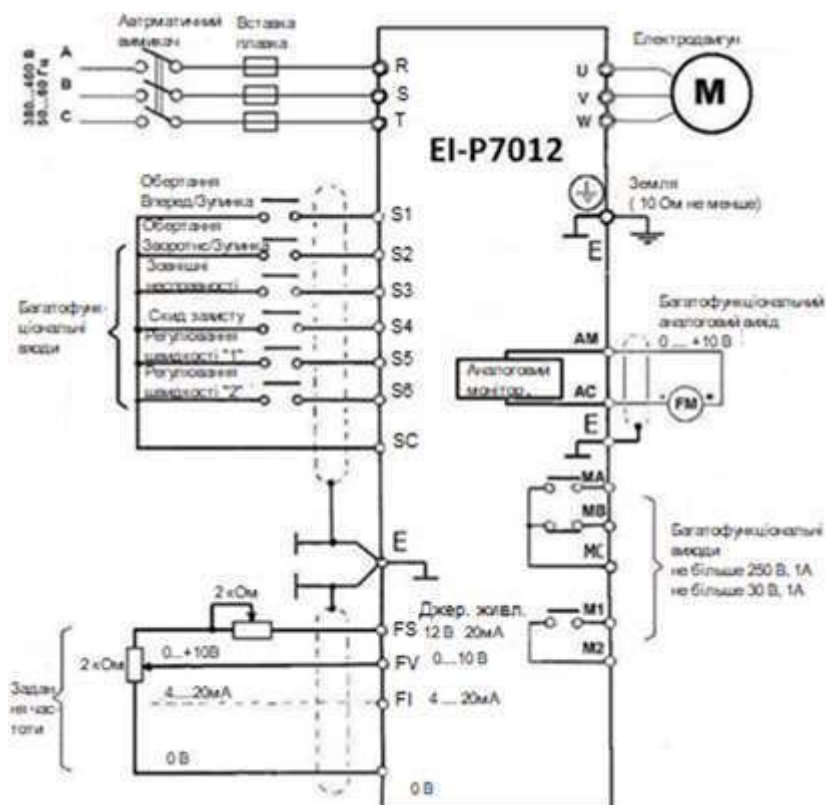


Рисунок 2.23 – Схема підключення модуля РСВ-RS485А-1 у ПЧ EI-7012

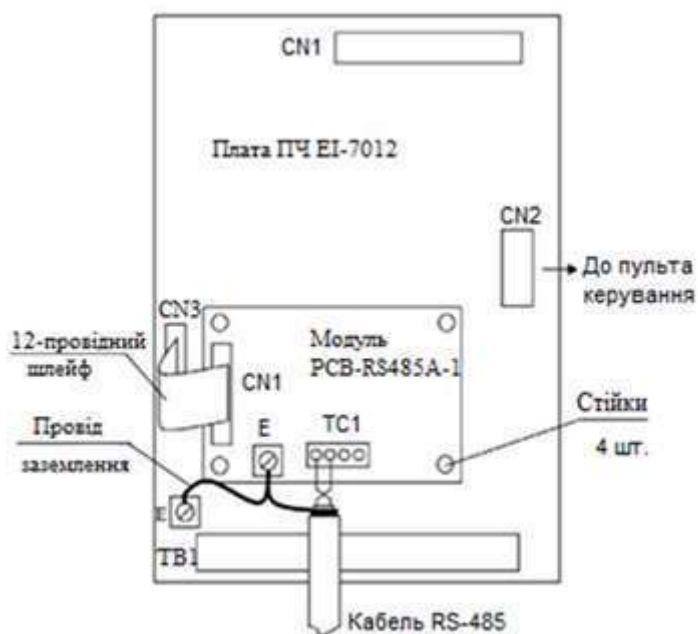


Рисунок 2.24 – Встановлення та підключення модуля РСВ-RS485А-1 у ПЧ EI-7012

Загальна структурна схеми системи обліку електроенергії представлена рисунку 2.25.

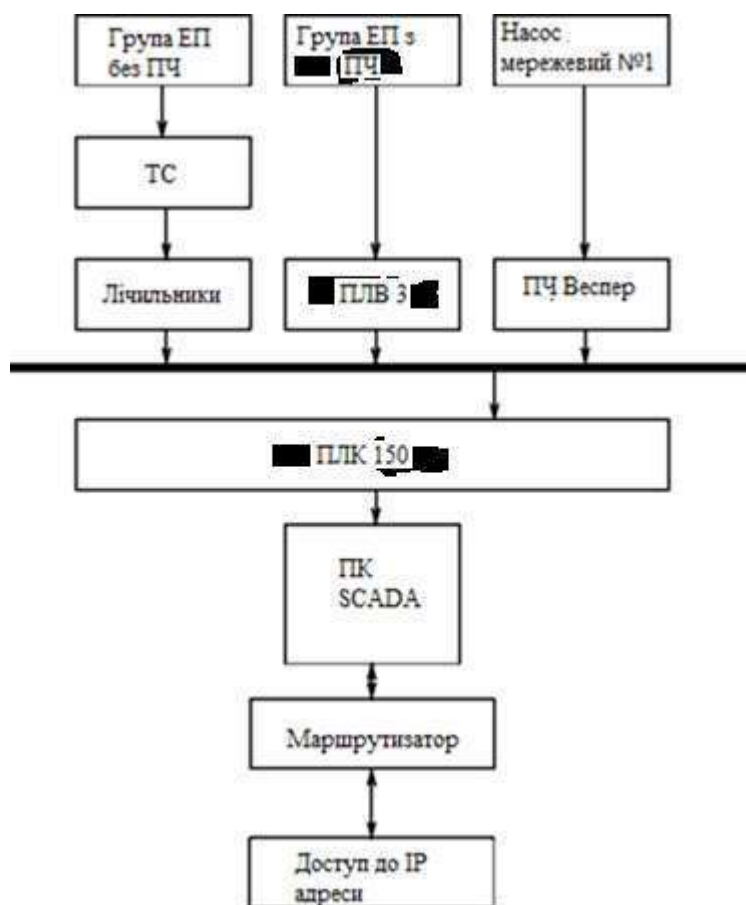


Рисунок 2.25 – Загальна структурна схема

Загальна схема відображає комплекс технічних засобів, принцип роботи, та напрями передачі даних.

2.9 Висновки до розділу 2

1. Проведено аналіз котельні по вул. Галицька, 40, яка є ключовим елементом тепlopостачання мікрорайону. Визначено основне обладнання, його функції та технічні характеристики, що впливають на ефективність роботи об'єкта.

2. Проаналізовано споживання електроенергії за останні роки, що дозволило виявити можливості для оптимізації процесів енергоспоживання.

3. Розглянуто важливість впровадження системи автоматизованого обліку електроенергії для моніторингу споживання, зниження енергетичних втрат та підвищення ефективності управління ресурсами котельні.

4. Розроблено технічні рішення для впровадження системи обліку, включаючи вибір лічильників, трансформаторів струму, частотних перетворювачів та програмно-логічних контролерів.

5. Запропоновано використовувати частотні перетворювачі для оптимізації роботи насосів і вентиляторів, що зменшує споживання електроенергії та збільшує термін експлуатації обладнання.

6. Розроблено схему автоматизації обліку електроенергії, яка використовує сучасні контролери, програмне забезпечення та SCADA-системи для забезпечення віддаленого доступу до даних.

Загалом, у розділі запропоновано інноваційні технічні рішення, спрямовані на підвищення енергоефективності котельні та створення умов для її ефективної роботи.

З РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Моделювання в лабораторних умовах

3.1.1 Побудова системи обліку на базі двох високочастотних перетворювачів

Система обліку електроенергії була відтворена в лабораторних умовах, на базі обладнання Навчально-методичного центру «Електроенергетик» ТНТУ ім. І Пулюя в менших масштабах. Використовувався лабораторний стенд, з встановленими на ньому двома частотними перетворювачами та контролером ПЛК 150 (ПЛК – програмований логічний комплекс) (рисунок 3.1), а також персональним комп'ютером з встановленим на ньому спеціальним програмним комплексом.

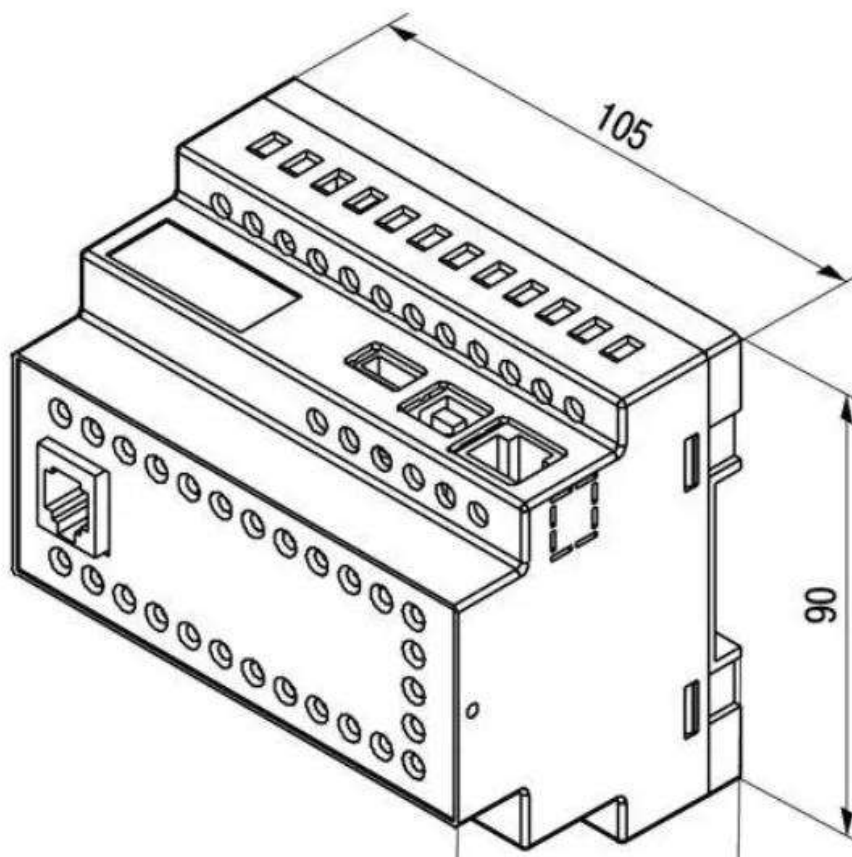


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд програмованого логічного контролера ПЛК – 150.

Підключення здійснюємо по інтерфейсу RS-485, використовувався провід типу «вита пара». Підключення було здійснено послідовно, що відповідає топології типової мережі.

Віддалене опитування та керування здійснювалось за допомогою ПЛК-150.

Керування здійснювалось з використанням командного слова, а опитування – зверненням до певних регістрів.

Попередньо здійснюємо налаштування ПЛК. Необхідні параметри вказані в таблиці 3.1. У «прямокутних» дужках вказані стандартні параметри. Жирним шрифтом виділено обрані налаштування.

Таблиця 3.1

Налаштування зв'язку ПЛК

Загальні налаштування. Група параметрів конфігурації загальних налаштувань зв'язку.		
8-01	0 – 2 [0]	Спосіб керування: 0 – цифрове керування та командне слово. 1 – лише цифровий: використання цифрового входу як керуючого. 2 – лише командне слово.
8-02	0; 1 [1]	Джерело командного слова: 0 – ні: функція не активна; 1 – RS485: джерело командного слова керування здійснюється через порт послідовного зв'язку RS485.
Налаштування порту. Параметри для конфігурування порту ПЛК		
8-30	0; 2 [0]	Протокол: протокол, що використовується; 0 – не використовується; 2 – <u>Modbus</u>.

Продовження таблиці 3.1

8-31	1 – 126; [1]	Адреса для шини. [1 - 126] - діапазон адреси шини ПЛК;
8-32	0 – 4 [2]	Задає швидкість передачі даних порту. Значення вибирається з варіантів: – «0» – 2400; – «1» – 4800; – «2» – 9600 (за замовчуванням); – «3» – 19200; – «4» – 38400.
8-33	0 – 3 [0]	Задає контроль парності даних. Значення вибирається з варіантів: – «0» – контроль парності відсутній (за замовчуванням); – «1» – перевірка на непарність; – «2» – контроль парності відсутній, 1 стоповий біт; – «3» – контроль парності відсутній, 2 стопових біти.

Далі переходимо до роботи з ПЛК–150. Використовуємо програмний комплекс CODESYS. Проводимо конфігурування ПЛК для роботи за протоколом Modbus з ПЛК. Додаємо елемент Modbus (Master) (рисунок 3.3), всередині якого встановлюємо два пристрої RCHV#1-2 (рисунок 3.2). Кожен з пристроїв має попередньо налаштовану унікальну у цій мережі адресу (рисунки 3.4, 3.5). Для кожного підключеного пристрою встановлюємо необхідні регістри, за якими буде здійснюватися зчитування даних, а також управління, якщо потрібно.

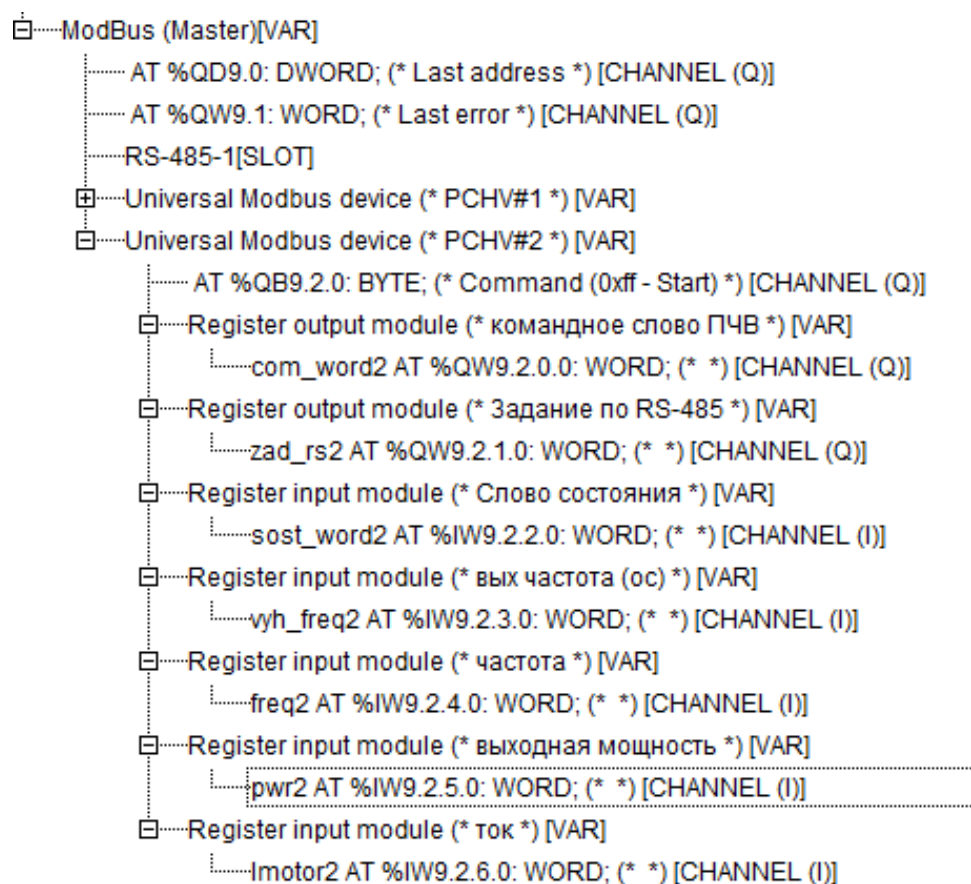


Рисунок 3.2 – Конфігурація ПЛК

Індекс	Ім'я	Значення	За замовч.	Мін.	Макс.
1	Communication speed	9600	11520		
2	Parity	NO PARITY...	NO PARITY C...		
3	Data bits	8 bits	8 bits		
4	Stop length	One stop bit	One stop bit		
5	Interface Type	RS485	RS485		
6	Frame oriented	RTU	ASCII		
7	Framing time ms	0	0	0	32000
8	Visibility	No	No		

Рисунок 3.3 – Налаштування інтерфейсу зв'язку

Індекс	Ім'я	Значення	За замовч.	Мін.	Макс.
1	ModuleIP	10:0:0:223	10:0:0:223		
2	Max timeout	150	150	10	
3	TCPport	502	502		
4	NetMode	Serial	Serial		
5	ModuleSlaveAddress	10	1	0	255
6	Work mode	By poll time	By poll time		
7	Polling time ms	100	100	10	10000
8	Visibility	No	No		
9	Amount Repeat	0	0	0	100
10	Byte Sequence	Trace_mo...	Trace_mode		

Рисунок 3.4 – Налаштування ПЛК №1, адреса 10

Індекс	Ім'я	Значення	За замовч.	Мін.	Макс.
1	ModuleIP	10.0.0.223	10.0.0.223		
2	Max timeout	150	150	10	
3	TCPport	502	502		
4	NetMode	Serial	Serial		
5	ModuleSlaveAddress	11	1	0	255
6	Work mode	By poll time	By poll time		
7	Polling time ms	100	100	10	10000
8	Visibility	No	No		
9	Amount Repeat	0	0	0	100
10	Byte Sequence	Trace_mo...	Trace_mode		

Рисунок 3.5 – Налаштування ПЛК №2, адреса 11

У відповідності до завдання проекту, необхідно отримувати дані про спожиту потужності підключеного електродвигуна. Для цього використовується реєстр під номером 16099 (рисунок 3.6). Значення, які одержали з цього реєстру, відображають поточне споживання потужності в даний момент часу.

Індекс	Ім'я	Значення	За замовч.
1	Regist...	16099	0
2	Comma...	Read holding Register...	Read holding Registers
8	Visibility	No	No

Рисунок 3.6 – Реєстр 16099 – споживана потужність

Загалом у проекті створено 4 програми, три з них містять алгоритм керування ПЛК командними словами та перетворювачі типів даних (з byte в слово). Основною програмою для підрахунку споживання електроенергії електродвигуном є «integr», складена мовою FBD.

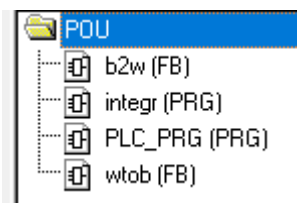


Рисунок 3.7 – Дерево проекту

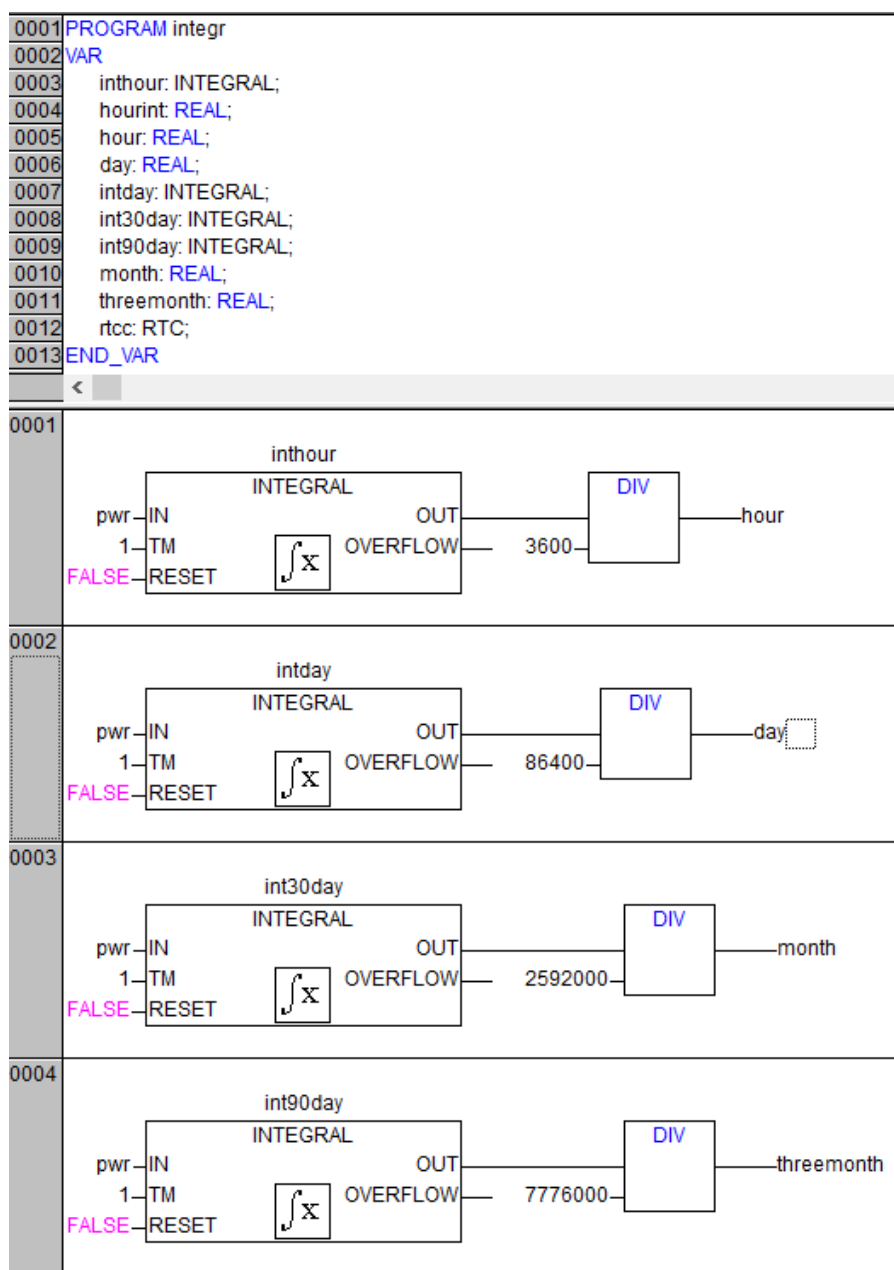


Рисунок 3.8 – Програма «integr» для підрахунку споживання електроенергії

3.1.2 Робота зі SCADA. Проект в SIMPLE SCADA

Для даної роботи створюємо проект відображення даних про споживання потужності на комп'ютері. Крім цього, додамо відображення частоти обертання валу двигуна та стану ПМР.

SIMPLE-SCADA дозволяє легко додавати візуальні елементи для відображення параметрів.

Додатково реалізована можливість керування параметрами частотного перетворювача за допомогою командних слів. Використання стандартних командних слів дозволяє здійснювати пуск, гальмування, завдання частоти обертання. Дані можливості використовувалися при моделюванні системи обліку електроенергії для керування електродвигунами та отримання різних значень рівня споживаної потужності.

Передача даних здійснюється через OPC сервер CODESYS.

н. з/п	Ім'я	Адреса	ID	OPC . сервер
1	PLC1_freq	PLC1::freq	0	CoDeSys.OPC.02 (localhost)
2	PLC1_freq2	PLC1::freq2	2	CoDeSys.OPC.02 (localhost)
3	PLC1_pwr	PLC1::pwr	4	CoDeSys.OPC.02 (localhost)
4	PLC1_pwr2	PLC1::pwr2	6	CoDeSys.OPC.02 (localhost)
5	PLC1_PLC_PRG_freq_ok	PLC1:PLC_PRG.freq_ok	10	CoDeSys.OPC.02 (localhost)
6	PLC1_PLC_PRG_freq_ok2	PLC1:PLC_PRG.freq_ok2	11	CoDeSys.OPC.02 (localhost)
7	BITword		48	
8	hour1	PLC1:PLC_PRG.hour1	49	CoDeSys.OPC.02 (localhost)
9	hour2	PLC1:PLC_PRG.hour1	50	CoDeSys.OPC.02 (localhost)
10	hour3	PLC1:PLC_PRG.hour3	51	CoDeSys.OPC.02 (localhost)
11	day1	PLC1:PLC_PRG.day1	52	CoDeSys.OPC.02 (localhost)
12	day2	PLC1:PLC_PRG.day2	53	CoDeSys.OPC.02 (localhost)
13	day3	PLC1:PLC_PRG.day3	54	CoDeSys.OPC.02 (localhost)
14	month1	PLC1:PLC_PRG.month1	55	CoDeSys.OPC.02 (localhost)
15	month2	PLC1:PLC_PRG.month2	56	CoDeSys.OPC.02 (localhost)
16	month3	PLC1:PLC_PRG.month3	57	CoDeSys.OPC.02 (localhost)
17	threemonth1	PLC1:PLC_PRG.threemonth1	63	CoDeSys.OPC.02 (localhost)
18	threemonth2	PLC1:PLC_PRG.threemonth2	64	CoDeSys.OPC.02 (localhost)
19	threemonth3	PLC1:PLC_PRG.threemonth3	65	CoDeSys.OPC.02 (localhost)
20	threemonth4	PLC1:PLC_PRG.threemonth4	66	CoDeSys.OPC.02 (localhost)
21	year1	PLC1:PLC_PRG.year1	67	CoDeSys.OPC.02 (localhost)

Рисунок 3.9 – Вікно вибору змінних OPC сервера

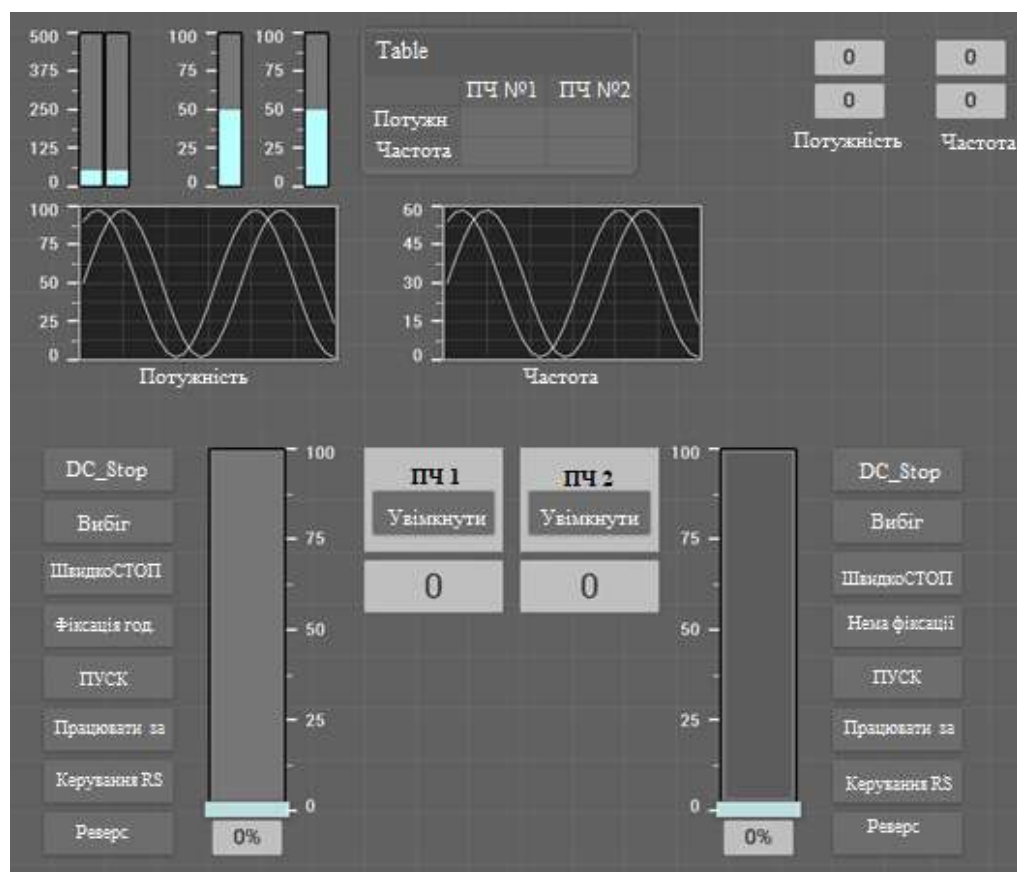


Рисунок 3.10 – Вікно клієнта з відображенням даних

3.2 Висновки до розділу 3

У розрахунково-дослідницькому розділі проведено моделювання системи обліку електроенергії на базі двох високочастотних перетворювачів, з використанням сучасних засобів автоматизації та програмного забезпечення. Лабораторні дослідження проводилися з використанням ПЛК-150, програмного комплексу CODESYS, а також системи SIMPLE SCADA для візуалізації та керування.

1. Проведено налаштування програмного логічного контролера для роботи за протоколом Modbus, що дозволило ефективно керувати електродвигунами та здійснювати облік їх потужності.

2. Реалізація проекту в SCADA дозволила відображати та аналізувати дані про споживану потужність, частоту обертання валу двигуна, а також керувати параметрами системи.

3. Запропоновано алгоритми для обчислення споживання електроенергії за допомогою програми на основі мови FBD.

Отримані результати свідчать про можливість ефективного застосування розробленої системи в промислових умовах для моніторингу та обліку електричної енергії, а також підвищення надійності керування електродвигунами.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Аналіз ризику щодо охорони праці в умовах функціонування комунального підприємства «Тернопільміськтеплокомуненерго»

Оцінка стану охорони праці на підприємстві в цілому і в його структурних підрозділах базується на аналізі даних атестації робочих місць, паспортизації санітарно-технічного стану цехів та відділів, результатах виконання комплексних планів покращення умов праці та санітарно-оздоровчих заходів, а також на динаміці показників виробничого травматизму та професійних захворювань.

Для нормальної і безаварійної роботи котельні і підтриманні в належному стані котлів і газового обладнання необхідно суворо виконувати виробничі інструкції і правила техніки безпеки.

Тому, на підприємстві «Тернопільміськтеплокомуненерго» створена служба охорони праці, яка виконує наступні завдання :

- 1) здійснює контроль за безпекою виробничих процесів, устаткування, будівель і споруд;
- 2) забезпечує працюючих засобами індивідуального і колективного захисту;
- 3) забезпечує професійну підготовку і підвищення кваліфікації працівників із питань охорони праці;
- 4) забезпечує оптимальні режими праці і відпочинку працюючих.

Працівники, що працюють в котельні і виконують роботи по обслуговуванню котлів обов'язково проходять навчання по безпечним методам праці з обов'язковим іспитом, що проходить безпосередньо на виробництві по спеціальній програмі.

Можливими ризиками щодо охорони праці на котельні є :

- ураження електричним струмом;
- витоки газу;
- витоки гарячого теплоносія;
- пожежа;

- необережне поводження з обладнанням;
- виробничі випромінювання;
- обладнання, що працює під тиском.

Для безпечної праці велике значення має правильна організація робочих місць обслуговуючого персоналу: вони мають бути добре освітленими; проходи перед фронтом котлів, між котлами і у всіх приміщеннях мають бути вільними, частини які обертаються, вузли насосів, електрообладнання мають бути захищені спеціальними огорожами чи щитками, електричні кабелі і проводи надійно ізолюваними, а корпуси електродвигунів і трансформаторів, кожухи пускових приладів - заземленими.

В котельні має бути аптечка із необхідними медикаментами. На видних місцях мають вивішуватися виробничі інструкції, режимні карти і плакати по техніці безпеки. Її вимоги є такими :

- при роботі в котельні обслуговуючий персонал має бути в акуратно заправленому одязі, взуття - на низькому каблуці, резиновій підшві.
- приміщення котельні має бути вільним від сторонніх предметів і чистим.
- для пошуку витoku газу забороняється користуватися відкритим вогнем – необхідно використовувати мильну емульсію.
- обдувка котлів від сажі, продувка котлів, розпалювання газових пальників має проводитися в захисних окулярах і рукавицях.
- якщо при розпалі або під час роботи погаснуть усі або частина пальників, необхідно негайно припинити подачу газу до них, провентилувати

4.2 Заходи забезпечення електробезпеки

Експлуатація обладнання неминує пов'язана з використанням електричної енергії. Електробезпека – це система організаційних, технічних заходів і засобів, які забезпечують захист людей від шкідливого і небезпечного впливу електричного струму.

Електричний струм, проходячи через тіло людини, спричиняє термічну, електролітичну і біологічну дію, викликає місцеві і загальні електротравми. Дія електричного струму на організм людини супроводжується зовнішнім ураженням тканин та органів у вигляді механічних ушкоджень, електричних знаків електрометалізації шкіри, опіків.

Термічна дія струму виявляється в опіках окремих ділянок тіла, ураженні внаслідок високої температури кровоносних судин, нервових клітин, серця, мозку, що призводить до серйозних функціональних розладів.

На підприємствах теплопостачання споживачами електроенергії є: електроприводи, освітлювальні прилади, електрощит. Все це обладнання може стати небезпечним при виникненні короткого замикання, пробою ізоляції, оголення проводів, попадання струму на струмоведучі частини обладнання. Для уникнення небезпечної дії електричного струму на персонал котелень проводяться заходи з метою уникнення ураження працівників струмом.

Для забезпечення роботи електрообладнання використовується напруга 380 та 220 В, яка є смертельно небезпечна для людини. Вражаюча дія електричного струму при цій напрузі залежить від наступних факторів: величини і тривалості протікання струму через тіло людини, роду і частоти струму, індивідуальних властивостей людини. Людина починає відчувати струм величиною 0,6 – 1,5 мА. Струм 10-15 мА (при $f = 50$ Гц) викликає судомі м'язів, які людина не може подолати сама. Цей струм називається пороговим невідпускаючим. При 100 мА і тривалості дії більше 0,5 с струм може спричинити зупинку або фібриляцію серця. Опір тіла людини різко падає в залежності від часу дії струму. Найбільш небезпечним є змінний струм з частотою 20 – 100 Гц. Постійний струм людина відчуває при 6-7 мА, пороговий невідпускаючий струм складає 50-70 мА, а фібриляційний – 300 мА.

Заходи по захисту, які застосовують на підприємствах теплопостачання, поділяють на заходи, які забезпечують безпеку при нормальному режимі роботи електроустановок, і заходи, які забезпечують безпеку при аварійних режимах. При

нормальному режимі роботи безпека в електроустановках забезпечується наступними заходами:

- ізоляцією струмоведучих частин;
- виконання електричних мереж, ізольованих від землі;
- компенсацією ємнісної складової струму замикання на землю;
- недоступністю струмоведучих частин.

Захисне заземлення – це спеціальне електричне з'єднання з землею металічних не струмопровідних частин обладнання, які можуть опинитися під напругою. Заземлюючий пристрій складається з заземлювача і заземлюючого провідника, який з'єднує заземлювані частини з заземлювачем. В якості заземлювачів використовують металічні конструкції і арматуру залізобетонних конструкцій, які мають сполучення з землею.

Захисне відключення – це швидкодіючий захист, який забезпечує автоматичне відключення електроустановки при виникненні в ній небезпеки ураження людини електричним струмом. Установка автоматичного відключення, яка застосовується на котельнях повинна відповідати наступним вимоги: висока чутливість, малий час відключення, селективність роботи, самоконтроль і надійність.

4.3 Заходи по запобіганню виникнення пожежі

Як уже зазначалось, вибухопожежна безпека об'єкта забезпечується системами:

- попередження вибухів і пожеж;
- протипожежного та противибухового захисту;
- організаційно-технічних заходів.

Система попередження вибухів і пожеж має за мету не допустити виникнення вибухів і пожеж.

Заходи і засоби попередження утворення горючого середовища в кожному конкретному випадку визначаються реальними умовами, що

розглядаються, вибухопожежонебезпечними властивостями речовин і матеріалів, що використовуються у технологічному циклі.

Попередження утворення горючого середовища може забезпечуватись загальними заходами або їх комбінаціями, що наведені в ГОСТ 12.1.007.-91.

Найбільш радикальним заходом попередження утворення горючого середовища є заміна горючих речовин і матеріалів, що використовуються, на негорючі та важкогорючі.

Тому попередження виникнення в горючому середовищі або внесення до нього джерел запалювання є головним стратегічним пріоритетом у роботі щодо запобігання пожежам. Джерелом запалювання може бути нагріте тіло чи екзотермічний процес, які здатні нагріти деякий об'єм горючої суміші до температури, коли швидкість тепловиділення ініційованого нагрівом процесу окислення перевищує швидкість тепловідводу із зони реакції.

4.4 Підвищення стійкості роботи об'єктів критичної інфраструктури у воєнний час

На основі всебічного аналізу факторів, що впливають на стійкість роботи об'єктів енергетики, робляться висновки про ймовірність виникнення аварій, стихійних лих, терористичних актів та їх впливу на виробничу діяльність і визначаються основні напрямки (шляхи) підвищення стійкості функціонування об'єктів енергетики в надзвичайних ситуаціях мирного і воєнного часу [15]:

1. Забезпечення надійного захисту робітників та службовців від впливу вражаючих факторів аварій, катастроф, стихійних лих і засобів ураження
2. Захист основних виробничих фондів від впливу вражаючих факторів аварій, катастроф, стихійних лих та засобів ураження, в тому числі і від вторинних вражаючих факторів;
3. Забезпечення стабільності і безперервності управління виробництвом та ЦЗ;
4. Забезпечення надійності постачання об'єкта енергоносіями.

Для надійного функціонування об'єктів енергетики в надзвичайних ситуаціях завчасно організовуються і проводяться заходи, спрямовані на підвищення стійкості їх роботи. До них відносяться:

1. Інженерно-технічні заходи (ІТЗ).
2. Технологічні заходи.
3. Організаційні заходи.

Інженерно-технічні заходи - заходи, спрямовані на забезпечення підвищення стійкості будівель, споруд, обладнання, енергетичних систем до впливу НС.

Технологічні заходи - заходи, спрямовані на здійснення підвищення стійкості шляхом зміни технологічного режиму, що виключає виникнення вторинних факторів ураження.

Організаційні заходи - заходи, спрямовані на завчасну розробку і планування дій керівного складу, особового складу, штабу ЦЗ, служб, невоснізованих формувань об'єктів енергетики в умовах надзвичайних ситуацій.

Основними напрямками підвищення стійкості функціонування є наступне:

- забезпечення захисту населення і його життєдіяльності;
- раціональне розміщення виробничих сил та потужностей на території об'єкта енергетики, регіону;
- підготовка до роботи в умовах НС мирного та воєнного часу;
- підготовка до виконання робіт по відновленню об'єктів в умовах НС;
- підготовка системи управління.

Всі ці заходи повинні забезпечити максимально можливе зниження втрат і руйнувань та зменшити можливість виникнення повторних зон зараження при впливі РР, ОР та НХР. Зміст таких заходів, виходячи з галузевих і інших нормативних документів, конкретизується для кожної територіальної ланки..

Ми знаємо, що електропостачання є основою всякого виробництва. Для забезпечення надійного електропостачання в НС при його проектуванні та будівництві повинні бути враховані наступні основні вимоги, що впливають із завдань цивільного захисту:

1. Електропостачання повинно здійснюватися від енергосистем, до складу яких входять електростанції, що працюють на різних видах палива.
2. Великі електростанції слід розміщувати одну від одної і від великих міст на значних відстанях.
3. Районні понижуючі підстанції, диспетчерські пункти енергосистем та лінії електропередач необхідно розміщувати розсереджено і надійно захищати.
4. Постачання електроенергією великих міст слід передбачати від двох незалежних джерел.

Крім того, необхідно створювати автономні резервні джерела електропостачання. Для цього можна використовувати рухливі електростанції на залізничних платформах, малопотужні електростанції, не включені до енергосистеми. Система електропостачання повинна мати грозозахисту систему та захист від впливу електромагнітного імпульсу ядерного вибуху.

Енергетичні споруди та електричні мережі повинні проектуватися з урахуванням забезпечення стійкого електропостачання категорійних міст і об'єктів. Схема електричних мереж енергосистем при необхідності повинна передбачати можливість автоматичного розподілу енергосистеми на збалансовані, незалежно працюючі частини. При проектуванні енергетичних систем і їхнього об'єднання теплові (конденсаційні) електростанції слід розміщати поза зонами можливого катастрофічного затоплення. У категорійних містах припускається розміщення тільки теплоелектроцентралей незалежно від їхньої встановленої потужності з максимальним віддаленням їх від центрів житлової і промислової забудов. Нові атомні електростанції та атомні теплоелектроцентралі повинні розміщатися з урахуванням їх впливу на навколишнє середовище і радіаційну безпеку населення. На існуючих та на тих, що проектуються і будуються атомних станціях, передбачається створення систем автоматизованого контролю за радіаційною обстановкою на території станції і в зоні спостереження цих станцій, оповіщення та інформаційного забезпечення обслуговуючого персоналу і населення про радіаційну небезпеку, а також захищених пунктів керування протиаварійними діями на території станції і

в пристанційних селищах.

При проектуванні схем зовнішнього електропостачання категорійних міст необхідно передбачати їхнє електропостачання від декількох незалежних та територіально рознесених джерел живлення (електростанції і підстанції), частина з яких повинна розташовуватися за межами зон можливих руйнувань. При цьому зазначені джерела і їхні лінії електропередачі повинні, як правило, знаходитися на відстані одне від одного, що виключає можливість їхнього одночасного виходу з ладу. Системи електропостачання категорійних міст повинні враховувати можливість забезпечення транзиту електроенергії в обхід зруйнованих об'єктів за рахунок спорудження коротких перемичок повітряними лініями електропередачі. Нові лінії електропередачі, що живлять особливо важливих споживачів, слід проектувати в кабельному виконанні. Для забезпечення можливості зниження електричного навантаження в категорійних містах системи електропостачання об'єктів, які не відключаються у воєнний час, повинні бути відділені від систем електропостачання інших об'єктів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У відповідності з метою роботи були вирішені задачі дослідження та одержані наступні результати:

1. В роботі продемонстровано важливість впровадження сучасних систем обліку електроенергії для комунальних підприємств теплоенергетики. Автома-тизація облікових процесів є необхідною умовою для забезпечення ефективності та стабільності енергозабезпечення.

2. Проведено всебічний аналіз стану котельні по вул. Галицька, 40, що включає її історію, характеристики обладнання та технологічні процеси. Виявлено ключові недоліки, зокрема низьку ефективність старого обладнання та значні витрати електричної енергії.

3. Розглянуто технологічні особливості роботи котельні та обґрунтовано доцільність впровадження автоматизованої системи обліку електроенергії. Це забезпечить оперативний контроль енергоспоживання та зменшить витрати.

4. Запропоновано технічні засоби для реалізації проекту, включаючи сучасні лічильники електроенергії, трансформатори струму, частотні перетворювачі та програмно-логічні контролери. Схеми автоматизації дозволяють забезпечити дистанційний моніторинг та управління.

5. Модернізація насосного обладнання та впровадження частотних перетворювачів дозволяють зменшити споживання електроенергії та підвищити продуктивність системи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Демчук О.В. Розробка системи обліку електричної енергії котельні / І.В. Беякова, В.І. Гетманюк, О.В. Демчук // Збірник тез доповідей. Матеріали XIII міжнародної науково - технічної конференції «Актуальні задачі сучасних технологій» (м. Тернопіль, 11 - 12 грудня 2024р.) / М-во освіти і науки України, Тернопільський нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя – Т.: ТНТУ, 2024.
2. Коваль В.П. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра для здобувачів другого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ В.П. Коваль, М.Г. Тарасенко, О.А. Буняк, Л.Т. Мовчан – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 51 с.
3. Коваль В. П. Енергетична ефективність систем позиціонування плоских сонячних панелей / В. П. Коваль, Р. Р. Івасечко, К. М. Козак // Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит. – 2015. – № 3. – С. 2-10.
4. Коваль В. П. Автоматизована вимірювальна установка для дослідження електричних характеристик фотоелектричних модулів/ В. П. Коваль, Б.Я. Оробчук, Л.М. Костик, Я.М. Осадца// Вісник Хмельницького національного університету. – 2022. – № 5. – С. 168-173.
5. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С. Стручок. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. – 156 с.
6. Тарасенко М. Dependences of relative and absolute glazed area from configuration and common areas of window embrasure / М. Тарасенко, В. Бурмака, К. Козак // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – 2018. – №1 (89). – С. 122-131.
7. Тарасенко М. Шляхи економії паливно-енергетичних ресурсів у побуті / М. Тарасенко, К. Козак // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – 2017. – №1 (85). – С. 101-108.
8. Тарасенко М. Економічна ефективність багатотарифного обліку електроенергії в Україні / М. Тарасенко, К. Козак // Світлотехніка та

електроенергетика. – 2017. – №1. – С. 23-33.

9. Тарасенко М. Ways to save fuel and energy resources in daily graft / М. Тарасенко, К. Козак // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – 2017. – №1 (85). – С. 101-108.

10. Аналіз та впровадження АСКОВЕ на підприємствах/ Ю.С. Олійник/ Стаття/[Електронний ресурс]. – Режим доступу до сайту: http://www.hups.mil.gov.ua/periodicapp/article/16482/soi_2016_3_50.pdf.

11. Буцьо З. Ю., Мартинюк В. І. Аналіз втрат електричної енергії в електромережах усіх рівнів напруги в енергосистемах провідних зарубіжних країн та України. Енергетика та електрофікація, № 2, 2020 р.

12. Волошко А.В., Шершень О. І. Вплив коливання частоти електричної мережі на точність проведення гармонічного аналізу, та способи їх зменшення.// Енергетика. Екологія. Людина» 2018; С.17-22.

13. Воротніцкій, В.Е. Програма розрахунку технічних втрат потужності та електроенергії в розподільних мережах 6 - 10 кВ. - Електричні станції, 1999, В.Е. Воротніцкій, С.В. Заслонов, М.А. Калінкіна № 8, с.38-4.

14. Євтух П. Облік електроенергії при несинусоїдальних і несиметричних режимах у мережах електропостачання міст / П. Євтух, С. Бабюк, Т. Кислиця // Вісник ТНТУ. — 2013. — Том 70. — № 2. — С.183-189.

15. Кращі з доступних технологій для житлово-комунального господарства України. Керівництво з відбору технологій / Під редакцією С. Єрмілова. – К.: «Поліграф плюс», 2016. – 134 с.

16. Кузнецов В.Г., Тугай Ю.І., Кучанський В.В., Лиховид Ю.Г., Мельничук В.А. Резонансні перенапруги у несинусоїдному режимі магістральної електричної мережі. Електротехніка і електромеханіка. 2018; №2: С. 69 – 73.

17. Лиховид Ю.Г., Тугай І.Ю. Моделювання режимів роботи компенсованих ліній електропередач. Енергетика та комп'ютерноінтегровані технології в АПК. 2017; №1 (6): С. 10 – 12.

18. Мартиненко В. І. Дослідження ефективності автоматизованої системи

комерційного обліку електроенергії побутових споживачів / В. І. Мартиненко, Д. О. Босий // Електрифікація трансп.. - 2018. - Вип. 15. - С. 99- 108.

19. Інтелектуальні системи в електроенергетиці. Теорія та практика: навчальний посібник. / Стаднік М.І., Видмиш А.А., Штуць А.А., Колісник М.А. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2020. 332 с.

20. Koval V, Martsenko S, Zin M. Designing and Implementing Intelligent Lighting Control System. The 1st International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023). Ternopil, Ukraine, June 14-16, Vol. 3468, Pages 241-249.

21. Geletukha G., Zheliezna T. Prospects for Bioenergy Development in Ukraine: Roadmap until 2050 // Ecological Engineering & Environmental Technology. – 2021. –V. 22 (5). – P. 73–81. <https://doi.org/10.12912/27197050/139346>.

22. Djuric B. Frequency measurement of distorted signals using Fourier and zero crossing techniques // Djuric B., D. Zeljko // Electronic Power Systems Research. 2008. V78, I.8. P. 1407-1415.

23. Franklin M.P. Pamplona, Benemar A. Souza Harmonic Passive Filter Planning In Radial Distribution Systems Using Microgenetic Algorithm // IEEE 11th International Conf. on Harmonics and Quality of Power. – 2004. 22. Fujita, T. Yamasaki, and H. Akagi A hybrid active filter for damping of harmonic resonance in industrial power systems // IEEE Trans. Power Electron. – vol. 15. – no. 2. – Mar. 2000. – PP. 215–222.

24. Vakulenko, O., Sysak, I., Babiuk, S., & Bunko, V. (2021, December). Features of the enameled wires insulation diagnosing by voltage. In Proceedings of the International Conference „Advanced applied energy and information technologies 2021”, 2021 (pp. 27-32). TNTU, Zhytomyr «Publishing house „Book-Druk “» LLC.

25. Design of an intelligent system to control educational laboratory equipment based on a hybrid mini-power plant. Orobchuk, B., Buniak, O., Babiuk, S., Sysak, I. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2023, 2(9-122), pp. 59–72. ISSN 1729-3774