



<https://orcid.org/0000-0001-6951-4091>
<https://orcid.org/0000-0002-7220-6660>
<https://orcid.org/0000-0002-9364-9495>
<https://orcid.org/0000-0003-2447-4924>
<https://orcid.org/0000-0003-1190-0314>

УДК 681.515.8

В.П. КЛИМЕНКО*, О.В. ГЕДЗЬ*, М.Г. ІЄВЛЄВ*, Н.Г. АРОНОВА*, С.Є. МОЙСЕЄНКО*

**АПАРАТНІ ТА ПРОГРАМНІ РІШЕННЯ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ
ІНЖЕНЕРНИМ ОБЛАДНАННЯМ У ЖИТЛОВИХ БУДИНКАХ ТА НА
ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТАХ**

*Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, м. Київ, Україна

Анотація. Актуальність створення систем управління інженерним обладнанням у житлових будинках та на промислових об'єктах пов'язана з сучасним станом житлово-комунального господарства м. Києва, що налічує понад 10000 багатопверхових будинків, та Київської області – понад 5000, які збудовані ще у минулому сторіччі і мають застаріле інженерне обладнання, що потребує ремонту і впровадження сучасних інформаційних технологій. Сучасні системи управління інженерним обладнанням у житлових будинках та на промислових об'єктах забезпечують економічне споживання енергоресурсів. Автоматизація інженерних систем будівель забезпечує суттєве зниження споживання ресурсів (електрики, води, тепла), підвищення ефективності роботи інженерного комплексу будівлі, оптимізацію роботи всіх його систем відповідно до потреб споживачів, а також внутрішніх та зовнішніх чинників, мінімізацію участі людини в управлінні будь-якими частинами системи, підвищення рівня безпеки будівель за рахунок створення системи миттєвого автоматичного реагування на будь-яку позаштатну ситуацію, зниження витрат на обслуговування всіх частин системи, можливість віддаленого доступу до роботи всього обладнання та контролю за ним. У статті описані науково-технічні результати досліджень у частині створення апаратних та програмних рішень для побудови спеціалізованих контролерів на базі сучасних 32-розрядних однокристальних мікро-ЕОМ, розробки схемотехніки, топології друкованих плат та програмного забезпечення, дослідження та розробки методів інформаційної взаємодії з автоматикою інженерних систем в комунальній сфері. Викладені у статті науково-технічні рішення можуть бути використані при розробці систем автоматизованого управління інженерним обладнанням у комунальній сфері та на промислових об'єктах.

Ключові слова: житлово-комунальне господарство, промислові об'єкти, шафа управління, інженерне обладнання, модуль аналогових каналів, універсальний контролер.

Abstract. The relevance of the creation of control systems for engineering equipment in residential buildings and industrial facilities is connected with the current state of housing and communal services in the city of Kyiv, which includes more than 10,000 multi-storey buildings, and in the Kyiv region – with more than 5,000 buildings, which were built in the previous century and have outdated engineering equipment that needs repair and implementation of modern information technologies. Modern systems of management of engineering equipment in residential buildings and industrial facilities ensure economical consumption of energy resources. Automation of building engineering systems provides for a considerable reduction in resource consumption (electricity, water, and heat), increase in the efficiency of the building engineering complex, optimization of the operation of all its systems according to the needs of consumers, as well as internal and external factors, minimization of human participation in the management of any parts of the system, increase in the level of safety of buildings by the creation of a system of instant automatic response to any emergency, reduction of the costs of maintaining all parts of the system, and the possibility of remote access to the operation of all equipment and its control. The article describes the scientific and technical results of research focused on the development of hardware and software solutions

for the construction of specialized controllers based on modern 32-bit single-chip microcomputers, the creation of circuitry, the topology of printed circuit boards and software, research and development of methods of information interaction with the automation of engineering systems in the communal sphere. The scientific and technical solutions provided in the article can be used in the development of automated systems of management of engineering equipment in the communal sphere and at industrial facilities.

Keywords: housing and communal services, industrial facilities, control cabinet, engineering equipment, module of analog channels, universal controller.

DOI: 10.34121/1028-9763-2023-1-72-83

1. Вступ

Актуальність створення систем управління інженерним обладнанням у житлових будинках та на промислових об'єктах пов'язана з сучасним станом житлово-комунального господарства м. Києва, що налічує понад 10000 багатоповерхових будинків, та Київської області – понад 5000, які збудовані ще у минулому сторіччі і мають застаріле інженерне обладнання, що потребує ремонту і впровадження сучасних інформаційних технологій. Сучасні системи управління інженерним обладнанням у житлових будинках та на промислових об'єктах забезпечують економне споживання енергоресурсів [1–4].

Метою статті є опис розроблених апаратних та програмних рішень для систем управління інженерним обладнанням у будівлях та на промислових об'єктах, у тому числі спеціалізованих контролерів на базі сучасних 32-розрядних однокристальних мікро-ЕОМ, топології друкованих плат та програмного забезпечення.

2. Ефективність автоматизації інженерних систем будівель та промислових об'єктів

Автоматизація інженерних систем будівель забезпечує такі переваги [1, 2]:

- суттєве зниження споживання ресурсів (електрики, води, тепла) зі збереженням попереднього рівня комфорту та виконання всіх завдань щодо забезпечення безперебійної роботи інженерного комплексу будівлі;
- підвищення ефективності роботи інженерного комплексу будівлі, оптимізація роботи всіх його систем відповідно до потреб споживачів, а також внутрішніх та зовнішніх чинників;
- мінімізацію участі людини в управлінні будь-якими частинами системи;
- підвищення рівня безпеки будівель за рахунок створення системи миттєвого автоматичного реагування на будь-яку позаштатну ситуацію;
- зниження витрат на обслуговування всіх частин системи;
- можливість віддаленого доступу до роботи всього обладнання та контролю за ним;
- підвищення рівня комфорту.

У розвинених зарубіжних країнах подібні системи вже давно та успішно використовуються як у будинках громадського та промислового призначення, так і в житлових будинках. Вони отримали назву «розумний дім» чи «інтелектуальний будинок».

Такі інтегровані комплекси можуть об'єднувати не тільки системи електропостачання, опалення, пожежну та охоронну сигналізацію та водопостачання, а й вентиляційне обладнання, освітлення, каналізацію, холодильні та рефрижераторні установки, ліфти, насоси, контрольно-вимірні прилади, системи керування доступом та слабкострумові системи.

Крім підвищення рівня комфорту та безпеки, власники будівель, які оснащені автоматизованими системами керування інженерним обладнанням, одержують додаткові вигоди у вигляді зниження комунальних платежів.

Оскільки всі інженерні системи інтегруються між собою і використовують загальний алгоритм використання всіх ресурсів, автоматично знижується рівень оплати за електроенергію, газ та воду. Також автоматизація і диспетчеризація інженерних систем буді-

вель дає можливість стежити за роботою всіх комунікацій у віддаленому режимі та контролювати її. Наприклад, можна зайти на спеціальний сайт свого будинку і перевірити, чи не залишилися включеними побутові прилади після відходу на роботу, і якщо система не вимкнула їх самостійно, що мало ймовірно, можна у віддаленому режимі дати їй цю команду. Багаторівнева схема інженерних систем будинків наведена на рис. 1.

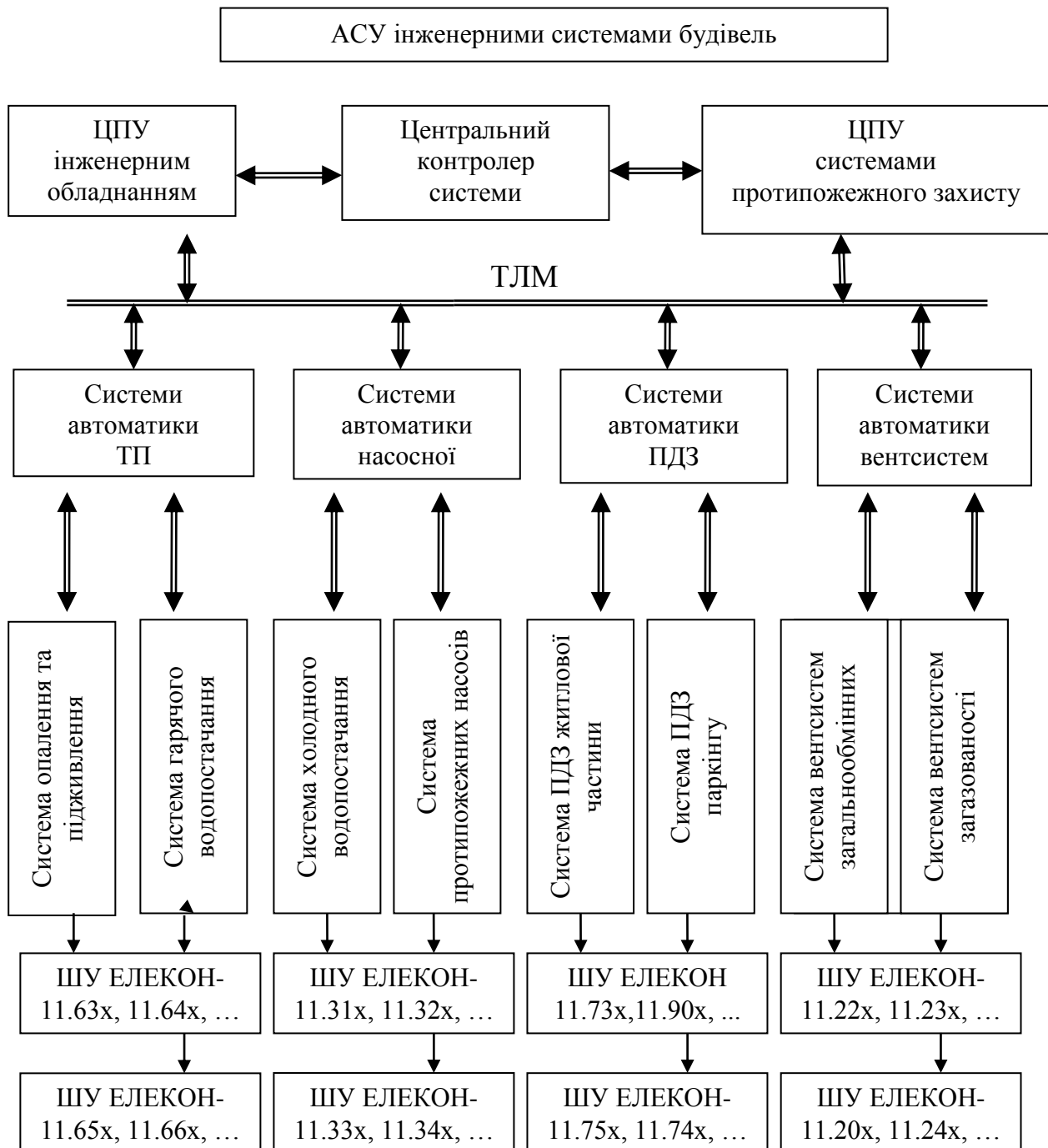


Рисунок 1 – Багаторівнева схема інженерних систем будинків: ЦПУ – центральний пульт управління; ТЛМ –технологічна мережа; ПДЗ – протидимний захист; ШУ – шафа управління; ТП – тепловий пункт

3. Модуль аналогових каналів

Для вводу інформації з аналогових датчиків різних типів був створений спеціалізований мікропроцесорний пристрій. Як центральний процесор виступає 32-розрядна однокристальна мікро-ЕОМ STM32F105RBT6 компанії STMicroelectronics. Блок-схема модуля аналогових каналів наведена на рис. 2, ескіз друкованої плати на рис. 3, загальний вигляд на рис. 4. Розроблене програмне забезпечення модуля аналогових каналів забезпечує вимірювання вхідних аналогових величин, накопичення, фільтрацію вимірних значень та видачу їх через технологічну мережу RS-485 з використанням протоколу нормалізації технологічних даних. В енергонезалежній пам'яті зберігаються таблиці перерахунку для конкретних типів датчиків. Такий підхід дозволяє змінювати у процесі модернізації чи вдосконалення типи датчиків, не міняючи програмне забезпечення центрального контролера.

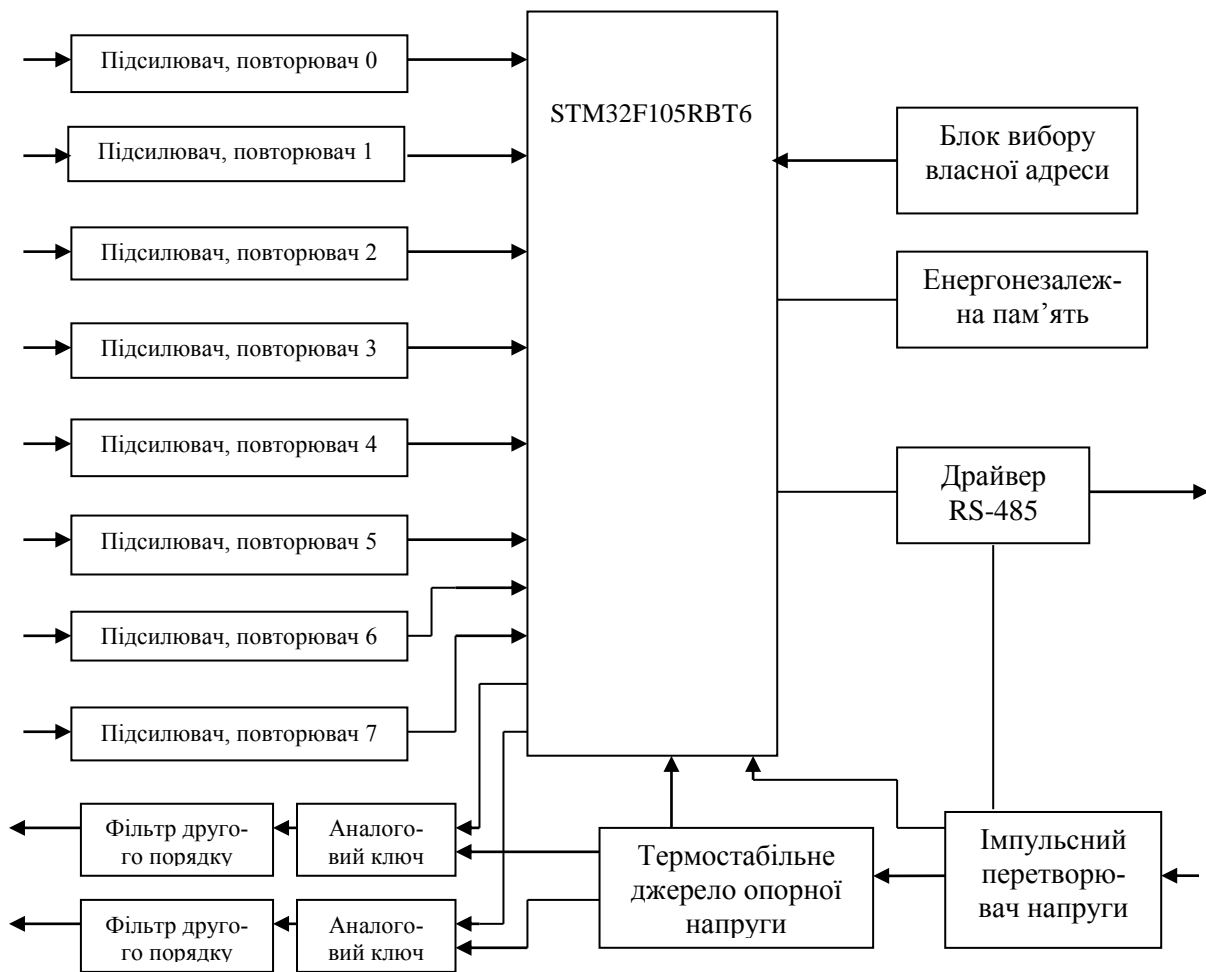


Рисунок 2 – Блок-схема модуля аналогових каналів

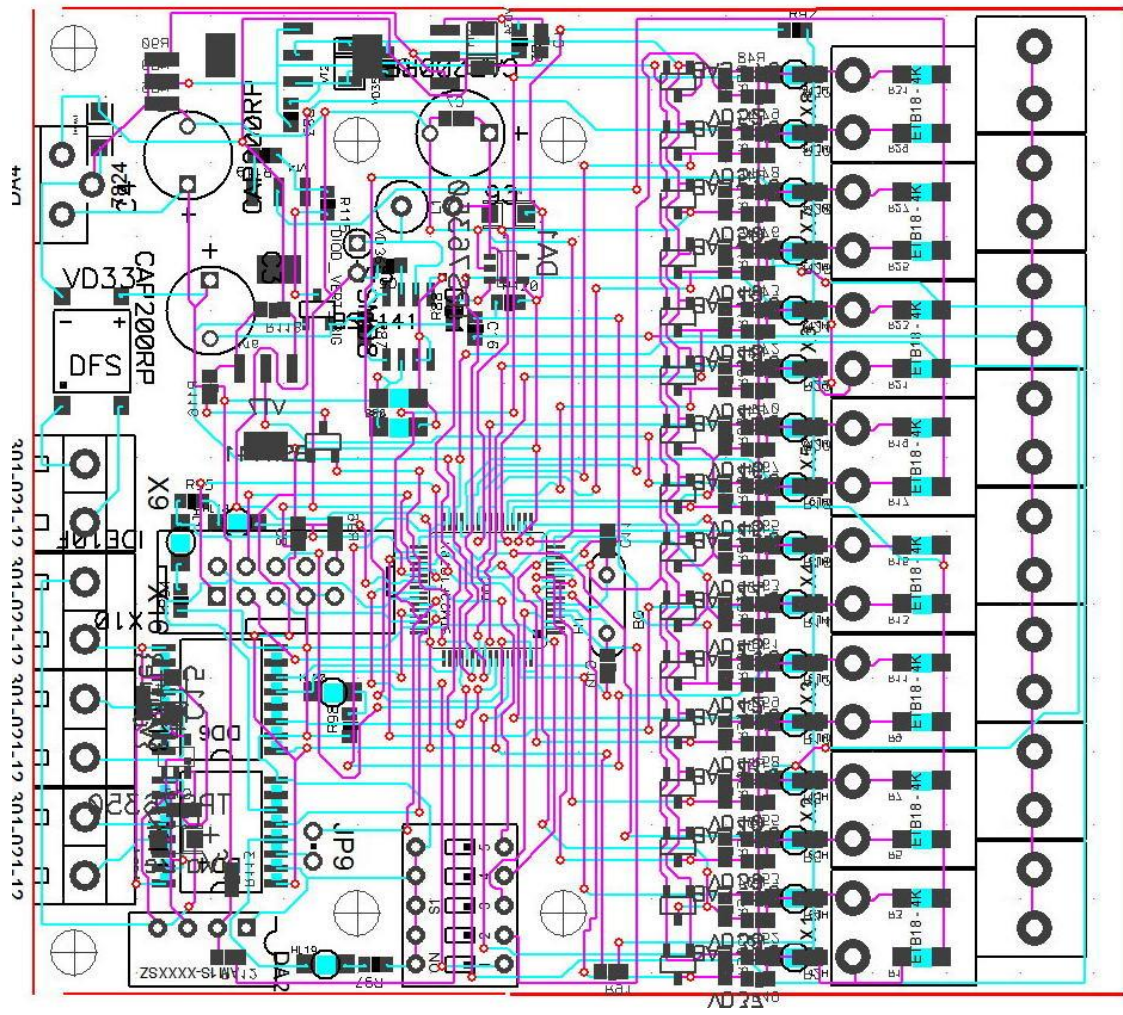


Рисунок 3 – Ескіз друкованої плати модуля аналогових каналів

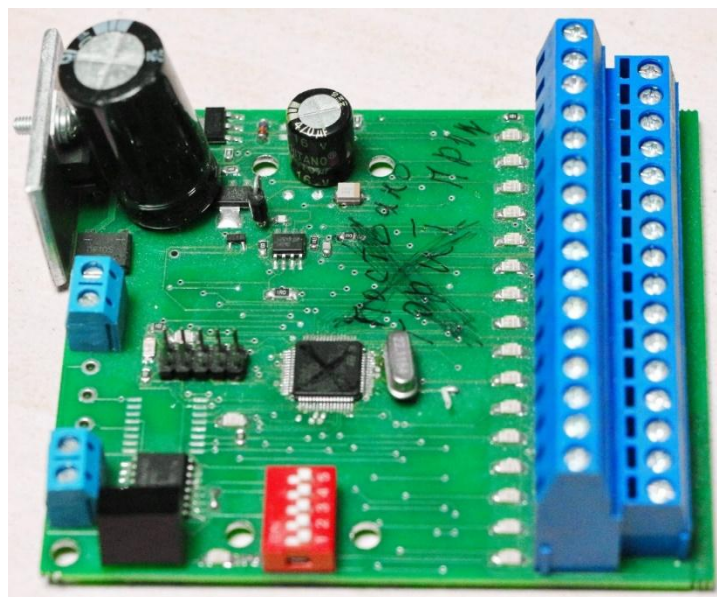


Рисунок 4 – Модуль аналогових каналів

4. Універсальний контролер

Для побудови АСУ інженерними системами будинків створено універсальний контролер. Він використовується для роботи з невеликою кількістю первинних датчиків, встановлених на невеликій території (наприклад, у межах теплову пункту багатоповерхівки). З метою здешевлення та спрощення конструкції доцільно мати у складі контролера максимум периферійних вузлів, зокрема, мінімальну кількість аналогових вимірювальних каналів та дискретних входів. Контролер підтримує 16 аналогових вимірювальних каналів, 32 дискретні входи, інтерфейс RS-485. Як центральний процесор використана 8-бітна однокристальна мікро-ЕОМ atmega1284. Загальний вигляд плати центрального контролера із встановленим модулем гальванорозв'язаного інтерфейсу RS-485 наведено на рис. 5.

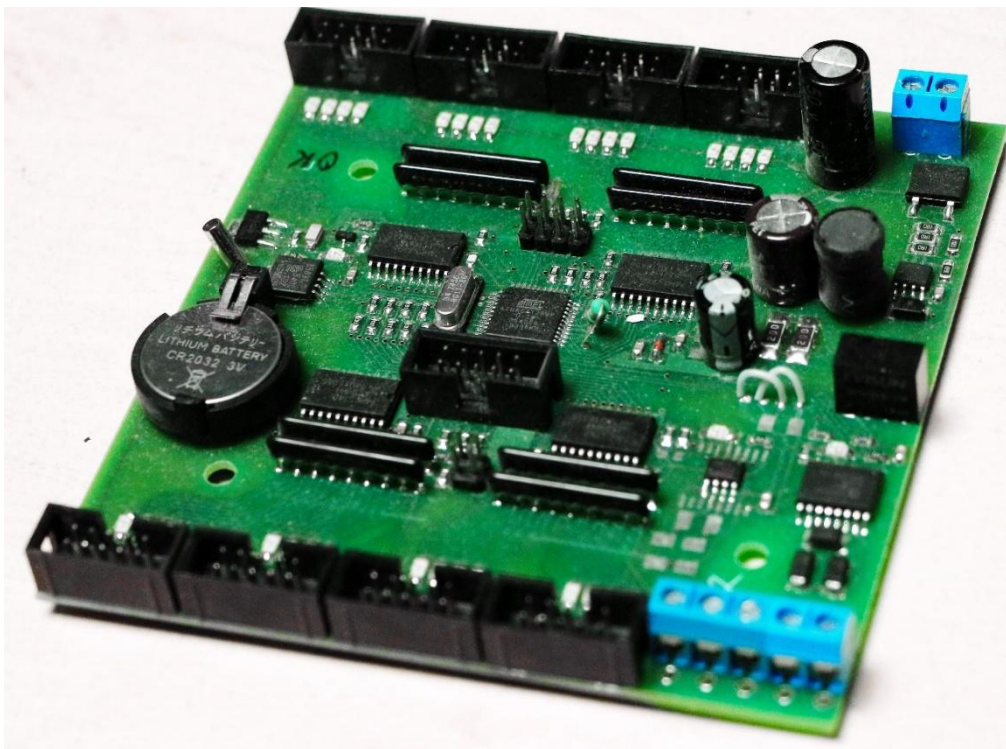


Рисунок 5 – Загальний вигляд плати центрального контролера

З метою зменшення зовнішніх підключень на платі контролера передбачено три імпульсні стабілізовані перетворювачі. Вхідна напруга живлення може коливатись від 10 до 40 вольт. Один перетворювач забезпечує роботу цифрової частини, два інших забезпечують двополярне живлення аналогової частини. Також ці напруги виведені на роз'єми підключення модулів аналогових каналів та використовуються для їх живлення. Формування всіх необхідних напруг засобами контролера та широка межа напруги живлення спрощує схему живлення, збільшує надійність роботи та дозволяє роботу з резервними акумуляторними батареями різних типів.

Для прийому дискретних сигналів у контролері передбачено блок формування сигналів опитування гальванорозв'язаних модулів прийому «сухих» контактів (МСК). Розрядність блока дозволяє прийняти 64 «сухі» контакти.

Блок аналогових вимірювань складається із джерела опорної напруги, регістрів комутації аналогових каналів та попередніх підсилювачів. Безпосереднє перетворення аналогових сигналів у цифрову форму відбувається в 10-бітному аналого-цифровому перетворювачі (АЦП) центрального процесора. Для формування аналогових вихідних сигналів у контролері використовуються два канали широтно-імпульсної модуляції. Вихідна напруга

0-10 вольт формується двома фільтрами другого порядку та повторювачами на операційних підсилювачах.

Для формування вихідних дискретних сигналів контролер містить регістри-повторювачі. Передбачена світлодіодна індикація стану кожного з 16-ти вихідних дискретних каналів.

Для взаємодії з пультом оператора в контролері передбачений не розв'язаний гальванічно інтерфейс RS-485. Для передачі інформації про поточний стан датчиків та сповіщувачів на автоматизованому робочому місці (АРМ) оператора в контролері передбачено універсальний цифровий послідовний канал, який у залежності від конфігурації системи може працювати з різноманітними інтерфейсами. Для вибору інтерфейса на платі контролера передбачена установка відповідного модуля. На даний момент розроблено модулі таких інтерфейсів: гальванорозв'язані RS-485 та RS-422, USB, RS-232.

З метою протоколювання технологічних параметрів у часі та для відтворення в ретроспективі картини в разі настання аварійного режиму роботи обладнання в контролері передбачені годинник, календар реального часу з елементом живлення та два банки енергонезалежної пам'яті. Причому один банк пам'яті невилучний, а другий банк пам'яті може вилучатись для подальшого зчитування інформації з допомогою ПЕОМ та відповідного програмного забезпечення.

У розробленому для контролера базовому програмному забезпеченні реалізовані алгоритми самодіагностики, фільтрації, нормалізації аналогових та дискретних вимірюваних значень, ведення протоколу подій із потрібним дублюванням, формування інформаційних пакетів для АРМ оператора та загальної системи диспетчеризації, підтримка світлодіодної мнемосхеми та локального пульта оператора.

5. Інтерфейс користувача – оператора

Інтерфейс користувача передбачає можливість настройки основних параметрів роботи системи, доступу до архіву подій, відображення поточного стану роботи системи.

Інформація відображується на текстовому рідкокристалічному індикаторі (РКІ), для переміщення по меню використовується клавіатура. У програмному забезпеченні центрального контролера присутній модуль підтримки інтерфейса користувача для роботи з пультом оператора через відповідний канал RS-485. Загальний вигляд клавіатури наведено на рис. 6.

АВАР 1	↓ 2	↑ 3	↵ Увести
АВТО 4	↑ 5	+ 6	□ DIG -/0
ОПЕР 7	ПУСК Відкр 8	Закр 9	СТОП
F1	F2	F3	F4

Рисунок 6 – Клавіатура ПУ

5.1. Призначення та функції клавіш

АВТО – переведення обраного пристрою в автоматичний режим роботи;

ОПЕР – переведення обраного пристрою в оперативний режим роботи (із кнопок пульта управління). Пристрій переходить у режим ОПЕР при натисканні кнопки ПУСК і повертається в АВТО при зупиненні пристрою кнопкою СТОП.

АВАР – скидання зафіксованого аварійного стану пристрою після усунення неполадок;

↵ – перехід у підменю або відкриття каталогу, відображуваного в верхньому рядку дисплея, запам'ятовування нових значень параметрів, що вводяться;

↑ – закриття каталогу, перехід у верхнє меню;

↑, ↓ – переміщення по рядках меню;

ПУСК, СТОП – включення / виключення пристроїв, переведених у режим ОПЕР;

DIG – включення режиму цифрового набору при зміні цифрових параметрів;

СТОП – скидання звукового сигналу аварії з основного меню, скасування введення зміненого цифрового параметра;

1 ... 9 – цифри, що вводяться в режимі цифрового набору;

- / 0 – введення від'ємних значень параметрів або 0 в режимі цифрового набору.

Кнопки F1–F4 зарезервовані для подальших версій програмного забезпечення.

У режимі цифрового набору на РКІ відображається така інформація:

abc.d min : ____

xuz.v max : ____

abcd – нове значення параметра (вводиться значення);

xuz.v – попереднє значення параметра;

min : _ – мінімально допустиме значення параметра, що вводиться;

max : _ – максимально допустиме значення параметра, що вводиться.

Кома при введенні чисел враховується автоматично.

При введенні негативних значень знак «-» відображається після введення значущої цифри. Для підтвердження введення нового значення параметра необхідно натиснути кнопку ↵. При цьому здійснюється вихід із режиму цифрового набору. Для скасування введеного значення необхідно натиснути кнопку СТОП.

Повторне натиснення цієї кнопки призводить до виходу з режиму цифрового набору.

5.2. Інформація, що відображається на дисплеї пульта управління

Головне меню.

>1. Система 2. Пристрої

1. Система – підкаталог, в якому відображається поточний стан системи.

2. Пристрої – підкаталог, в якому відображається поточний стан виконавчих пристроїв, що входять до складу автоматики.

3. Датчики – підкаталог, в якому відображається поточний стан датчиків загазованості і рівнів.

4. Вимірювання – підкаталог, в якому відображається рівень вхідного сигналу по вимірювальних каналах.

5. Уставки – підкаталог параметрів, що настраюються автоматикою.

6. Тест – підкаталог тестування елементів системи автоматики.

7. Повідомлення – підкаталог перегляду повідомлень, що фіксуються системою.

Використовувані кнопки:

↑, ↓ – переміщення по рядках меню;

↵ – перехід у підменю або відкриття каталогу , зазначеного знаком > ;
↑ – закриття каталогу, перехід у верхнє меню;
СТОП – скидання звукового сигналу пульта при аварії або тривозі.

5.3. Система – перегляд стану інженерного обладнання

MNS	НОРМА	999
Зупинений		

MNS – ім'я системи;
НОРМА / АВАРІЯ – поточна стадія;
999 – час перебування в поточній стадії;
Відміна1 / Відміна2 / Відміна3 / Зупинено – поточна стадія системи після скидання аварії, черговий режим;
Затримка / аварія1 / Запущено – стадії включення устаткування.
Використовувані кнопки:
↵ – перехід у підменю уставок системи.

5.4. Пристрій – режим управління виконавчими механізмами

[ІМ'Я]	CL	9999	АВТО
[помилки]			

[ІМ' Я] – ім'я обраного виконавчого механізму (ВМ).
↓ , ↑ – переміщення по рядках. Для вибору ВМ необхідно використовувати кнопки:
CL / ОР / – стадія, в якій знаходиться пристрій (виключено / включено);
9999 – час перебування в поточній стадії;
АВТО / ОПЕР – режим управління пристроєм (автоматичне або оператором із пульта управління);
[помилки] – поле повідомлення про помилки.
Використовувані кнопки:
АВТО – переведення пристрою в автоматичний режим управління;
ОПЕР – переведення пристрою в оперативний режим управління;
ПУСК / СТОП – включення / виключення пристрою (виходу) в режимі оперативного управління.

5.5. Датчики – перегляд стану датчиків та їх рівнів

QT 1	4.0
Норма	

QT1 – вибір датчика для перегляду;
Норма – стан сигналу від датчика. Можливі стани:
– обрив – значення датчика менше встановленого в уставках мінімального струму (норма).
Струм 2 мА відповідає нормальному зв'язку із блоком прийому, але датчик до блоку прийому не підключений або несправний. Струм менше 2 мА свідчить про обрив зв'язку із блоком прийому або його виключення;
– норма – струм датчика в межах норми;
– поріг1" – струм датчика перевищив поріг 1 загазованості (рівня палива) (поріг1);
– поріг2" – струм датчика перевищив поріг 2 загазованості (рівня палива) (поріг2).
Використовувані кнопки:
↓ , ↑ – перебір перегляду датчиків;
↵ – перехід у меню уставок порогів спрацьовування датчиків.

5.6. Вимірювання – перегляд рівнів сигналів по каналах виміру

T1	4.0 мА	1000
T2	4.0 мА	1000

T1 – вибір каналу, вимірювання;

T1 ... T8 – плата прийому аналогових вимірювань № 1 (# 51);

Q1 ... Q8 – плата прийому аналогових вимірювань № 2 (# 52);

P1 ... P8 – плата прийому аналогових вимірювань № 3 (# 53);

1000 – напруга на вході вимірювального каналу, мВ;

4,0 мА – струм датчика, перерахований за напругою на вході вимірювального каналу за формулою

$$I = U / K + B ,$$

де U – напруга на вході вимірювального каналу, мВ;

K – коефіцієнт пропорційності;

B – струм зміщення, мА.

Коефіцієнт пропорційності K і струм зміщення у кожного каналу вимірювання можуть налаштуватися окремо для забезпечення максимальної точності вимірювання.

Використовувані кнопки:

↓, ↑ – перебір перегляду датчиків;

↵ – перехід у меню уставок настройки каналів вимірювання.

5.7. Уставки – настраюються параметри оповіщення

1. ПУСК – уставки системи оповіщення:

«Затримка пуску 5» – час затримки сигналів оповіщення в разі виявлення аварійних режимів.

2. Пристрої.

3. Датчики – установка порогів спрацьовування датчиків , кожного датчика окремо:

«Гістер 0» – гістерезис – не використовується;

«Норма 3,5» – поріг нормального струму датчика;

«Поріг1 12,0» – поріг № 1;

«Поріг2 16,0» – поріг № 2;

4. Вимірювання: – настройка каналів вимірів:

«Коеф До каналу xx 250» – коефіцієнт пропорційності даного каналу вимірювання;

«Коеф До каналу xx 0,0» – струм зміщення даного каналу вимірювання.

5. Система: настройка годин і перезапис заводських уставок.

«Час» – настройка внутрішніх годин;

«Перезапуск» – перезапис заводських уставок.

Використовувані кнопки:

↓, ↑ – переміщення по рядках меню;

↵ – перехід у підменю або відкриття каталогу , зазначеного знаком >;

↑ – закриття каталогу , перехід у верхнє меню;

DIG – переведення в режим цифрового набору для зміни обраного параметра.

При установці часу змінюваний параметр відзначається символом ^, переміщення символу кнопками ↓, ↑. Після введення нового значення часу кнопками переміщення необхідно прибрати символ виділення з дисплея, після цього нове значення збережеться при виході з меню налаштування часу.

Для перезапису в уставки заводських значень параметра «Перезапуск» необхідно встановити значення 1 і вимкнути живлення контролера на 5 с. Після подачі живлення всі уставки приймуть початкове (заводське) значення.

ТЕСТ – меню тестування входів МСК.

МСК – інформація, яка приймається з модулів прийому «сухих» контактів;

00000011 11111111
11111111 11111010

«0» відповідає замкнутому контакту, «1» – розімкненим. Верхній лівий символ відповідає контакту № 2 МСК, далі по порядку.

5.8. Повідомлення – перегляд повідомлень

12:09	10.13	0001
Старт системи		05

12:09 10.13 – час і дата реєстрації повідомлення;

0001 – порядковий номер повідомлення.

Останньому повідомленню присвоюється номер 0001, попередньому 0002 і т.д.;

05 – Старт системи – зареєстровані подія і його код.

Можливі повідомлення:

«Старт системи» – подача напруги на щит;

«Скасувати» – сигнал скидання режиму «АВАРІЯ» по кнопці «Скасувати» на щиті автоматики;

«АВАРІЯ» – перехід системи у стан «АВАРІЯ»;

«Кн пульта» – сигнал включення режиму "АВАРІЯ" кнопкою на щиті автоматики;

«Статус TQx (Lax)» – зареєстрований статус датчиків;

«Натиснуто КН х» – зареєстрований статус кнопок.

Для сигналів «Скасувати», «АВАРІЯ» і «Кн пульта» застосоване таке кодування:

01 – подія настала (натиснута кнопка «Скасувати», натиснута кнопка «АВАРІЯ», прийшов сигнал аварії);

00 – подія закінчила свою дію (відпущена кнопка «Скасувати», скинутий сигнал аварії, скинутий сигнал аварії по кнопці на щиті).

Для статусу датчиків застосоване таке кодування:

01 – обрив;

02 – норма;

14 – аварія, перевищений порог 1.

Архів повідомлень не стирається і є енергонезалежним. Після заповнення блока пам'яті (~500 повідомлень) нові повідомлення записуються замість старих.

6. Висновки

У статті описані науково-технічні результати досліджень, проведених в Інституті проблем математичних машин і систем НАН України, в частині створення апаратних та програмних рішень для побудови спеціалізованих контролерів на базі сучасних 32-розрядних однокристальних мікро-ЕОМ, розробки схемотехніки, топології друкованих плат, програмного забезпечення, дослідження та розробки методів інформаційної взаємодії з автоматикою інженерних систем у комунальній сфері. Одержані науково-технічні рішення проходять дослідну експлуатацію в Логістично-складському комплексі для зберігання засобів захисту рослин, Київська обл., Васильківський р-н, с. Путрівка.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Клименко В.П., Корбут В.Б., Ієвлев М.Г. та ін. Енергозберігаючі засоби автоматизації і світлодіодні системи освітлення у промисловості, на транспорті, в будівництві та комунальній сфері. *Наука та інновації*. 2013. № 5. С. 19–26.

2. Морозов А.О., Клименко В.П., Гедзь О.В., Ієвлєв М.Г., Мойсеєнко С.Є. Системи управління схемою гарячого водопостачання для сучасних новобудов. *Математичні машини і системи*. 2022. № 2. С. 50–63.
3. ДБН В.2.5-28-2006. Інженерне обладнання будинків і споруд. Основні положення. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=45881.
4. ДСТУ 4472–2005. Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту. Загальні вимоги. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=59375.

Стаття надійшла до редакції 03.01.2023