

УДК 681.5
К 64

ФУНКЦІОНАЛЬНА СТРУКТУРА ТА КОМП'ЮТЕРНІ КОМПОНЕНТИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ БАГАТОКОНТУРНОЮ ПІРОЛІЗНОЮ УСТАНОВКОЮ

Ю. П. Кондратенко, д-р техн. наук, проф. ;
О. В. Козлов, мол. наук. співроб.

Національний університет кораблебудування, м. Миколаїв

Анотація. Наведені результати аналізу систем автоматичного керування сучасними технологічними комплексами, на основі якого розроблена функціональна структура комп'ютеризованої системи для основних керуваних координат багатоконтурної піролізної установки. Особливу увагу приділено схмотехнічним рішенням комп'ютерних компонентів з аналізом особливостей і переваг сучасних програмованих логічних інтегральних схем як можливої елементної бази для апаратної реалізації систем керування технологічними параметрами багатоконтурних піролізних установок.

Ключові слова: багатоконтурна піролізна установка, комп'ютеризована система керування, SCADA, блок автоматичного регулювання, програмовані логічні інтегральні схеми.

Аннотация. Приведены результаты анализа систем автоматического управления современными технологическими комплексами, на основе которого разработана функциональная структура компьютеризированной системы для основных управляемых координат многоконтурной пиролизной установки. Особое внимание уделено схмотехническим решениям компьютерных компонентов с анализом особенностей и преимуществ современных программированных логических интегральных схем как возможной элементной базы для аппаратной реализации систем управления технологическими параметрами многоконтурных пиролизных установок.

Ключевые слова: многоконтурная пиролизная установка, компьютеризованная система управления, SCADA, блок автоматического регулирования, программированные логические интегральные схемы.

Abstract. The results of analysis of the automatic control systems of modern technological complexes are given in the article. On the basis of this analysis the functional structure of the computerized system is worked out, for the basic guided coordinates of the multicircuit pyrolysis unit. Attention is paid to the circuit technology decisions of computer components with the analysis of features and advantages of modern Programmable Logic Integral Schemes as possible element base for hardware implementation of control systems of the technological parameters of multicircuit pyrolysis units.

Keywords: multicircuit pyrolysis unit, computerized control system, SCADA, automatic control unit, Programmable Logic Integral Schemes.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Перспективним методом вирішення проблеми накопичення твердих побитових відходів (ТПВ) є їх переробка з отриманням альтернативного палива згідно з технологією екопірогенезису (ЕПГ). Дана технологія реалізується за допомогою спеціальних багатоконтурних піролізних установок (БПУ) [12], використання яких дозволяє отримувати рідкі фракції палива, придатні до використання без додаткової відчистки у двигунах внутрішнього згоряння, а також керувати процесом термодеструкції [13].

Типова багатоконтурна піролізна установка є багатоконтактним складним технічним об'єктом. Наявність комп'ютеризованої системи керування і контролю забезпечує ефективне та узгоджене функціонування компонентів БПУ. Комплексна автоматизація БПУ дозволяє підвищити точність регулювання технічних параметрів технологічного процесу багатоконтурного циркуляційного піролізу (БЦП) та покращити якість отриманого альтернативного палива. Ефективність такої системи зростає при підвищенні показників якості окремих сепаратних каналів в автоматичних режимах.

Задачу синтезу комп'ютеризованої системи автоматичного керування (САК) БПУ, якій присвячені дослідження авторів, доцільно розв'язувати на основі аналізу існуючих систем комплексної автоматизації сучасних технологічних процесів й установок подібного класу та попередньої розробки її функціональної структури.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У науково-технічній літературі достатньо широко висвітлені відомості про застосування САК у сучасних ав-

томатизованих технологічних комплексах (АТК), зокрема для автоматизації ливарницького та сталеплавильного виробництва, процесів нафтопереробки, вантажопідйомних операцій, перевантаження і транспортування рідинних вантажів тощо [1, 2, 6, 10, 17]. Кількість публікацій стосовно різноманітних БПУ обмежена [3, 12, 13], а задача синтезу функціональних структур, компонентів та елементної бази систем керування БПУ на даний час залишається предметом для досліджень ряду наукових колективів як в Україні, так і за кордоном.

МЕТОЮ СТАТТІ є розробка на основі аналізу сучасних систем автоматичного керування АТК функціональної схеми комп'ютеризованої САК багатоконтурною піролізною установкою з відповідними керованими координатами, зокрема з реалізацією ієрархічних підсистем нижнього рівня АТК, а також аналіз можливої апаратної бази для реалізації комп'ютерних компонентів, що забезпечують в умовах нестационарних збурювальних впливів підвищення ефективності процесів керування в комп'ютеризованій системі автоматичного керування БПУ.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

У загальному вигляді задача сучасних АТК полягає в перетворенні первинної речовини в готову продукцію (перероблену речовину) на базі отримання від технологічного середовища інформації у вигляді задавальної програми та енергії. У сучасних АТК здійснюються: контроль і регулювання електромагнітних, механічних і технологічних змінних, а також показників якості готової продукції; автоматична оптимізація узагальнених показників якості; контроль стану електротехнічного, механічного й технологічного обладнання та ін. [2].

Підвищений рівень складності, багатофункціональності та багатокомпонентності сучасних АТК вимагає створення систем керування, що базуються на поточних даних, які формуються в масштабі реального часу в ході перебігу відповідних технологічних процесів, а не на статичній інформації баз даних. Як правило, такі системи мають ієрархічну розгалужену структуру, компонентами якої є промислові комп'ютери, технологічні контролери, автоматизовані пости оператора, програматори, засоби, що реалізують промислові мережі. Сучасними системами такого типу є SCADA-системи [6]. Застосування SCADA-технологій дозволяє досягти високого рівня автоматизації у вирішенні завдань розробки систем керування, збору, обробки, передачі, зберігання і відображення інформації в різних галузях промисловості.

Функціональна схема узагальненого АТК, керованого SCADA-системою, наведена на рис. 1 [2], на якому прийняті наступні позначення: М — виконавчий електродвигун; КП — керований перетворювач; МК — програмований мікроконтролер; КТ — контролер тех-

нологічний; ПО — пульт оператора; МП — магістральний перетворювач; ПК — персональний комп'ютер; СО — станція оператора; S_1 — первинна речовина; P — енергія; I — інформація; S_2 — готовий продукт (перероблена речовина).

Для використання вищенаведеного підходу при автоматизації БПУ необхідно виділити основні параметри технологічного процесу як керовані координати підсистем нижнього рівня. У подальшому більш детально розглянемо компонентну побудову узагальненої БПУ, функціональна схема якої наведена в роботі [12]. У складі БПУ доцільно виділити два основних компоненти: реактор і багатоконтурну циркуляційну систему (БЦС). Для забезпечення безперервного перебігу процесу БЦП та отримання на виході рідкого палива з бажаною молекулярною масою необхідно в певних межах підтримувати температурні режими реактора й БЦС, а також рівень завантаженості реактора. Отже, для ефективного функціонування даного АТК слід регулювати в певних межах наступні змінні: температуру нагріву реактора t_p , рівень завантаженості

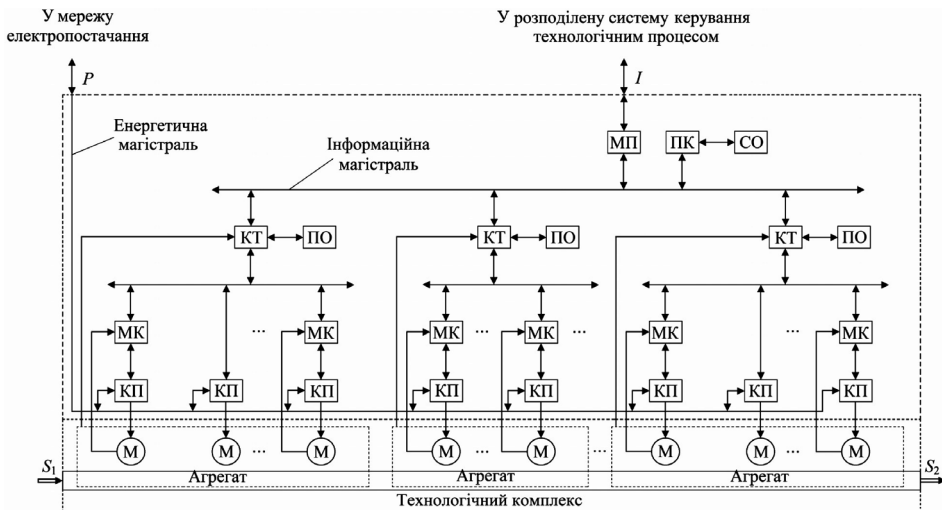


Рис. 1. Функціональна схема узагальненого автоматизованого технічного комплексу

реактора l_p та температуру охолодження кожного з контурів БЦС $t_{к1}$, $t_{к2}$ і $t_{к3}$ [3]. Для керування вищенаведеними координатами відповідні агрегати даного АТК мають бути оснащені необхідними виконавчими пристроями й механізмами, зокрема: для нагрівання реактора та стабілізації його температури — газовим пальником з керованим електроприводом вентиля; для завантаження відходів у реактор — плунжером з керованим гідроприводом; для охолодження контурів БЦС — системами повітряного або водяного охолодження, в яких можуть бути використані керовані вентилятори або насоси, а також заслінки з керованим електроприводом.

Розглянемо більш детально існуючі методи регулювання вищенаведених параметрів та відповідні схемотехнічні рішення, які застосовуються для автоматизації відповідних технологічних процесів і промислових об'єктів.

Стабілізація температури нагріву.

Для стабілізації температури нагріву в промислових об'єктах (методичних та доменних печах, парових і водогрійних котлах, піролізних установках для утилізації відходів та ін.) зазвичай використовують системи автоматичного регулювання (САР) температури з реалізацією принципу керування за відхиленням [1, 17]. Дані САР забезпечують підтримку заданої температури нагріву технічного об'єкта при його функціонуванні в умовах різноманітних збурювальних впливів. Одним з прикладів реалізації таких систем є САР методичної нагрівальної печі (МНП) [15], що здійснює підтримку теплового режиму в зоні томління МНП, який забезпечує витримку заготовок до заданих температур при коливаннях продуктивності МНП і теплофізичних параметрів заготовок.

Стабілізація рівня. Промисловими об'єктами, які потребують регулювання та стабілізацію рівня, найчастіше

виступають: парові та водогрійні котли (регулювання рівня води), плазмові реактори-сепаратори (регулювання рівня розплавленого металу), сонячно-вітрові водогрійні установки (регулювання рівня води), сепаратори (регулювання рівня рідини), паливні резервуари (регулювання рівня рідкого палива), опріснювачі (регулювання рівня води), піролізні установки для утилізації відходів (регулювання рівня завантаженості реактора). Для стабілізації рівня в промислових об'єктах такого класу в більшості випадків застосовують САР рівня [10, 14, 17] з реалізацією принципу керування за відхиленням. Наприклад, даний принцип керування реалізований у САР рівня води в котлі, розробленій компанією Spirax Sarco.

Стабілізація температури охолодження. Для охолодження технічних об'єктів у промисловості зазвичай використовують системи охолодження з різними тепловими носіями: повітря, вода, інші рідини [8, 9, 11]. Дані системи відносно автоматики являють собою замкнені САР із принципом керування за відхиленням. Для охолодження контурів багатоконтурної циркуляційної системи БПУ застосовують замкнені САР температури охолодження з повітряним тепловим носієм [12]. Виконавчими пристроями даної САР є повітряні вентилятори, керування якими здійснюється спеціальним блоком на базі отриманих заданих та дійсних значень температури певних контурів БЦС. Для реалізації від'ємного зворотного зв'язку використовуються датчики температури.

Проаналізувавши вищенаведені САР керованих координат різних технічних об'єктів, можна стверджувати, що як підсистеми нижнього рівня комплексної САК багатоконтурною піролізною установкою доцільно використовувати замкнені САР температури нагріву, рівня

завантаженості та температури охолодження з реалізацією принципу керування за відхиленням.

Проведені на основі аналізу сучасних систем автоматичного керування АТК дослідження дозволяють сформулювати функціональну структуру комп'ютеризованої САК багатоконтурною піролізною установкою з відповідними керованими координатами: t_p — температура реактора; l_p — рівень завантаженості реактора; t_{k1} , t_{k2} , t_{k3} — температури відповідно першого, другого й третього контурів охолодження БЦС.

До основних компонентів комп'ютеризованої системи автоматичного керування БПУ (рис. 2) належать: датчики температури (ДТ), датчики рівня (ДР), задавальні пристрої (ЗП), регулятори температури (РТ), регулятори рівня (РР), газовий паливник (ГП), система охолодження (СО) БЦС, керований вентиль (КВ), плунжер (П), пристрій керування плунжером (ПКП).

На структурній схемі комп'ютеризованої САК основними керованими

ми параметрами БПУ, що наведена на рис. 2, прийняті наступні позначення: t_3 і l_3 — задані значення температури нагріву реактора, температур охолодження контурів БЦС та рівня завантаженості реактора; $f(t_3)$ і $f(l_3)$ — електричні сигнали, пропорційні відповідним заданим значенням температури й рівня; ϵ_t та ϵ_l — сигнали помилки регулювання; $U_{КВ}$ і $U_{ПКП}$ — сигнали керування керованим вентилям та пристроєм керування плунжером відповідно; α_{31} , α_{32} , α_{3n} , α_B — значення кутів обертання заслінок системи охолодження відповідних контурів БЦС та вентиля газового пальника; $f_{П}$ — сигнал керування плунжером; $Q_{П1}$, $Q_{П2}$, $Q_{Пn}$, Q_M — витрати охолоджуючого повітря відповідних контурів БЦС та витрати відходів, що завантажуються до реактора; $P_{ГП}$ — потужність газового пальника; t_{k1} , t_{k2} , t_{k3} , t_p — значення температур відповідних контурів БЦС та реактора; l_p — величина рівня завантаженості реактора.

Для реалізації комплексного керування БПУ доцільно застосувати багаторівневу розгалужену САК, функціо-

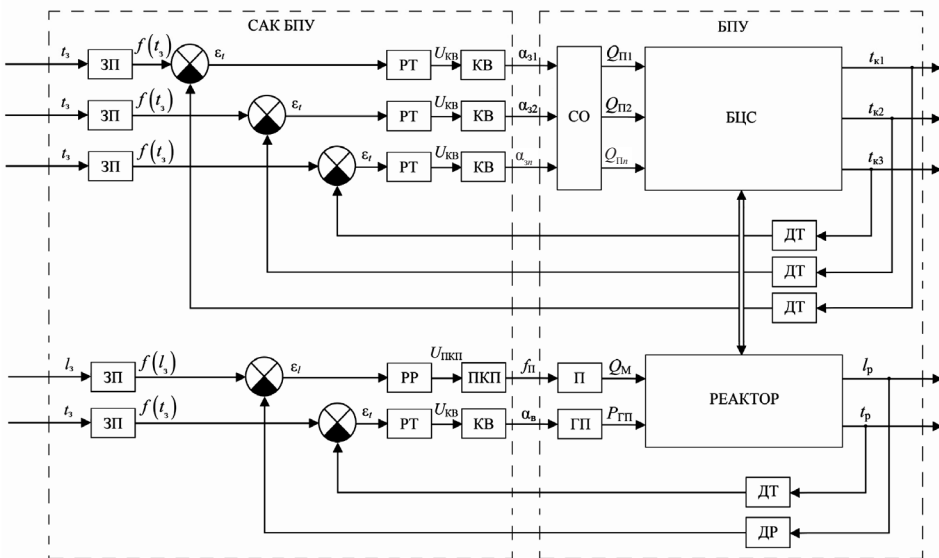


Рис. 2. Структурна схема комп'ютеризованої системи автоматичного керування основними керованими параметрами багатоконтурної піролізної установки

нальна схема якої зображена на рис. 3, на якому введено додаткові позначення: АЦП — аналого-цифровий перетворювач; ЦАП — цифро-аналоговий перетворювач.

У даній САК (див. рис. 3) здійснюється ієрархічне підпорядковане керування виконавчими пристроями та механізмами БПУ.

Підсистемами нижнього рівня даної САК, структурна організація яких наведена на рис. 2, є замкнені САР температури нагріву, рівня завантаженості реактора та температури охолодження кожного з охолоджувальних контурів, що реалізують принцип керування за відхиленням. Регулювання температури та рівня в даних САР здійснюється мікроконтролерами МК, які з'єднані з аналоговими елементами і пристроями за допомогою АЦП та ЦАП.

Керування на середньому рівні (див. рис. 3) здійснюється технологіч-

ними контролерами КТ, які узгоджують роботу пристроїв та механізмів, що входять до складу реактора й БЦС, та формують задані значення температури нагріву реактора $t_{3,p}$, рівня завантаженості реактора $I_{3,p}$ і температур охолодження контурів БЦС $t_{3,k1}$, $t_{3,k2}$, $t_{3,k3}$.

На верхньому рівні (ПК–ОС) здійснюються моніторинг параметрів технологічного процесу (див. рис. 3) та формування керуючої програми відповідно до заданого режиму роботи БПУ.

Апаратною базою для реалізації вищенаведеної функціональної схеми (крім мікроконтролерів) можуть також ефективно служити інтегральні мікросхеми (ІМС) зі змінною внутрішньою логічною структурою. До цього класу ІМС належать програмовані логічні інтегральні схеми (ПЛІС) [4], сучасні серії яких забезпечують високу швидкодію і мають значну обчислювальну потужність. Для програмування ПЛІС

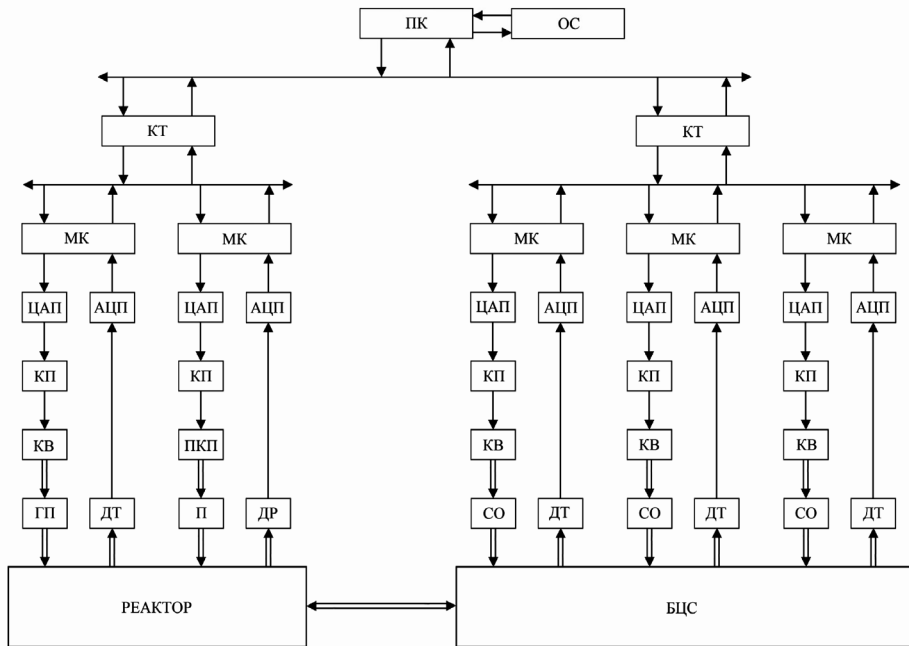


Рис. 3. Функціональна схема комплексної комп'ютеризованої системи автоматичного керування багатоконтурною піролізною установкою з ієрархічно організованою структурою

застосовуються програматори і відладочні середовища, які дозволяють задавати бажану структуру цифрового пристрою у вигляді принципової електричної схеми або програми спеціальними мовами апаратного опису: Verilog, VHDL, AHDL та ін [5, 16]. Найпоширенішими ПЛІС є ІМС, виготовлені за технологіями FPGA (field-programmable gate array) і CPLD (complex programmable logic device).

Інтегральні мікросхеми FPGA-технологій містять блоки множення–підсумовування, які широко застосовуються при обробці сигналів (DSP), логічні елементи (як правило, на базі таблиць перекодування — таблиць істинності), а також блоки їх комутації [4]. FPGA зазвичай використовуються для обробки сигналів, мають більшу кількість логічних елементів і більш гнучку архітектуру, ніж CPLD. Програма для FPGA зберігається в розподіленій пам'яті, яка може бути реалізована як на основі енергозалежних осередків статичного оперативного запам'ятовуючого пристрою (подібні мікросхеми виробляють, наприклад, фірми Xilinx і Altera) — в цьому випадку програма не зберігається при зникненні електроживлення мікросхеми, так і на основі енергонезалежних осередків Flash-пам'яті або перемичок antifuse (такі мікросхеми виробляє фірма Actel і Lattice Semiconductor) — у цих випадках програма зберігається при зникненні живлення. Якщо програма зберігається в енергозалежній пам'яті, то при кожному включенні живлення мікросхеми необхідно знову конфігурувати її за допомогою початкового завантажувача, який може бути вбудований і в саму FPGA. Широкий діапазон ІМС FPGA-технологій дозволяє проектувати на її основі широкий спектр електронних пристроїв, серед яких наступні: засоби поєднання різних за живленням

інтерфейсів, перетворювачі кодів, реферійні контролери, мікропрограмні пристрої керування, скінченні автомати, універсальні та спеціалізовані процесори, пристрої цифрової обробки сигналів.

Інтегральні мікросхеми CPLD-технологій містять відносно великі програмовані логічні блоки — макромірки, з'єднані із зовнішніми виводами і внутрішніми шинами [4]. Функціональність CPLD кодується в незалежній пам'яті, тому немає необхідності їх перепрограмувати при включенні. Інтегральні мікросхеми даного типу можуть застосовуватися для проектування нестандартних арифметико-логічних пристроїв, дешифраторів, мультиплексорів, а також розширення кількості входів/виходів поруч із великими кристалами або для передобробки сигналів (наприклад, контролер COM-порту, USB, VGA). До недоліків CPLD слід віднести: низьку кількість системних вентилів та високе енергоспоживання. Переваги їх полягають у більш високій швидкодії та забезпеченні можливості встановлення захисту від копіювання.

Проектування й виробництво сучасних ПЛІС здійснюють такі фірми, як Xilinx, Altera, Lattice, Actel та ін.

Характерним прикладом [7] реалізації процесів керування температурою нагріву, рівнем завантаженості та температурою охолодження БПУ на базі ПЛІС є наведений на рис. 4 блок автоматичного регулювання (БАР).

До складу БАР входять наступні основні компоненти: аналогові, цифрові та інтерфейсні мезоніни вводу й виводу МВА, МВЦ, МВВЦ, МВВА, МІ, входи-виходи яких підключені до гнізда XP15 (XP16) для зв'язку з об'єктом (типи і кількість мезонінів є гнучкою структурою); ПЛІС Spartan 3, входи-виходи якої з'єднані з виходами-входами мезонінів МВА, МВЦ, МВВЦ, МВВА, МІ;

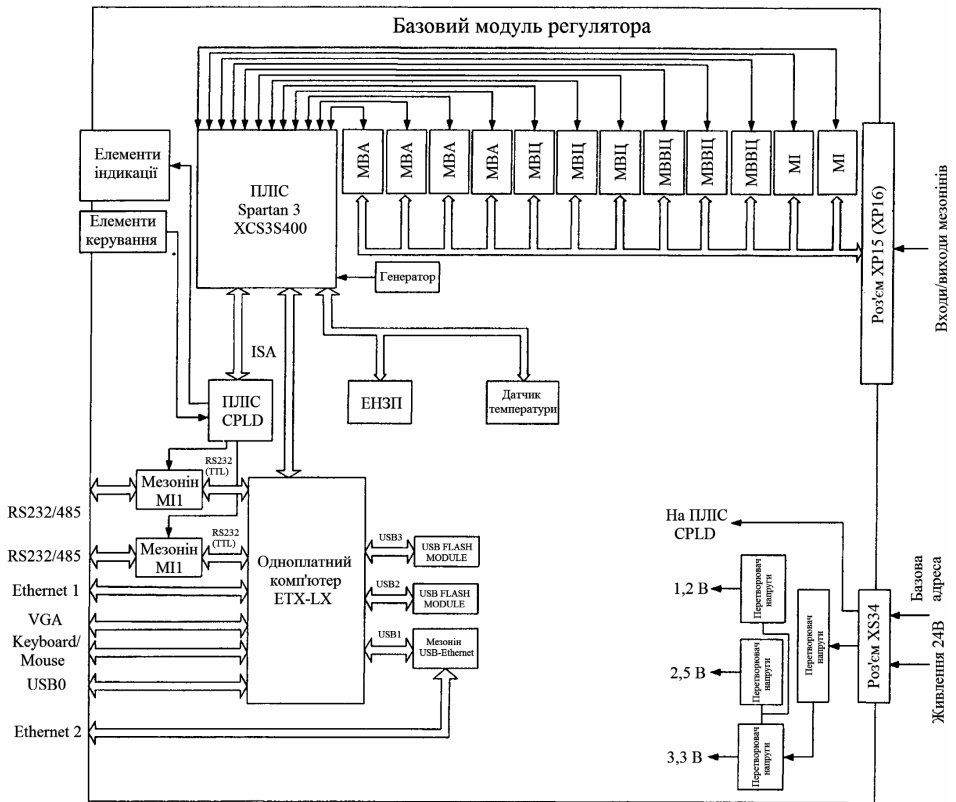


Рис. 4. Структура блока автоматичного регулювання

енергонезалежний запам'ятовуючий пристрій ЕНЗП і датчик температури, входи-виходи яких з'єднані з виходами-входами ПЛИС Spartan 3; ПЛИС CPLD, входи-виходи якої з'єднані з виходами-входами ПЛИС Spartan 3; елементи індикації та елементи керування (кнопки), входи і виходи яких відповідно з'єднані з виходами й входами ПЛИС CPLD; одноплатний комп'ютер, який своїми входами-виходами з'єднаний із ПЛИС Spartan 3, інтерфейсними мезонінами МІ, виходом Ethernet 1, виходом-виходом VGA, виходом-виходом Keyboard/Mouse (клавіатура/маніпулятор типу «миша»), виходом-виходом USB0, першим і другим флеш-модулями (USB FLASH MODULE), входами-виходами USB2 і USB3, інтерфейсним мезоніном

USB-Ethernet, входом-виходом Ethernet 2 БАР.

При використанні вищенаведеного БАР (див. рис. 4) для реалізації керування в підсистемах нижнього рівня системи автоматичного керування БПУ алгоритми керування ПЛИС визначаються в залежності від властивостей конкретного механізму БПУ та критеріїв якості, що пред'являються до регулювання певної змінної технологічного процесу.

Використання ПЛИС для реалізації БАР робить такі комп'ютерні компоненти систем керування універсальними та розширює можливість їх практичного застосування для автоматизації різноманітних технологічних процесів і об'єктів керування, зокрема для регулювання тиску, витрати, розрядження,

рівня, температури, потужності, концентрації речовин, швидкості переміщення та обертання тощо.

Доцільність використання ПЛІС як складової частини апаратної бази САК багатоконтурною піролізною установкою обумовлена можливістю реалізації гнучкого багатофункціонального керування. Використання ПЛІС у системі автоматичного керування БПУ дозволяє легко змінювати режими роботи та алгоритми керування підсистем нижнього й верхнього рівнів. Також у процесі роботи виникає можливість здійснювати реконфігурацію структури та змінювати параметри регуляторів підсистем керування відповідними координатами БПУ.

ВИСНОВКИ

Аналіз комп'ютеризованих САК сучасних АТК показує доцільність використання розгалужених багаторівневих систем типу SCADA для керування БПУ як складним багатокомпонентним технічним об'єктом.

Проведений аналіз існуючих методів керування та стабілізації керованих координат БПУ в різних сепаратних каналах дає змогу стверджувати, що

найпоширенішим рішенням для стабілізації вищезгаданих змінних є використання замкнених САР з реалізацією принципу керування за відхиленням. Даний принцип керування застосований при розробці структурної схеми комп'ютеризованої системи керування основними координатами БПУ.

Запропонована функціональна структура комп'ютеризованої системи БПУ є багаторівневою SCADA-системою з трьома ієрархічними рівнями і п'ятьма сепаратними каналами. При цьому підсистемами нижнього рівня є САР відповідних координат БПУ із запропонованою в даній статті структурною організацією.

Аналіз ряду переваг дозволяє зробити висновок, що як апаратна база для реалізації комп'ютеризованої системи керування параметрами БПУ можуть бути використані комп'ютерні компоненти та електронні пристрої, розроблені на базі ПЛІС.

Подальші наукові дослідження доцільно проводити в напрямку розробки та тестових випробувань запропонованої функціональної структури комп'ютеризованої системи керування БПУ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Автоматизация методических печей [Текст] / Л.И. Буглак, И.Б. Вольфман, С.Ю. Ефроймович [и др.]; под ред. М. Д. Климовицкого. — М. : Металлургия, 1981. — 195 с.
- [2] **Белов, М. П.** Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов [Текст] / М.П. Белов, В. А. Новиков, Л. Н. Рассудов. — М. : Изд. центр «Академия», 2007. — 576 с.
- [3] **Кондратенко, Ю. П.** Аналіз комплексу задач та координат керування технологічним процесом екопірогенезису [Текст] / Ю.П. Кондратенко, О. В. Козлов // Технічні вісті. — 2011. — Вип. 1(33), 2(34). — С. 13–16.
- [4] **Кондратенко, Ю. П.** Поведінковий синтез цифрових пристроїв у середовищі Active-HDL [Текст] / Ю. П. Кондратенко, С. А. Сидоренко, Д. М. Підпригора; За ред. Ю. П. Кондратенка. — Миколаїв : Вид-во МФ НаУКМА, 2002. — 116 с.

- [5] **Кондратенко, Ю.П.** Verilog-HDL для моделювання і синтезу цифрових електронних схем [Текст] / Ю.П. Кондратенко, В.В. Мохор, С.А. Сидоренко ; за ред. Ю.П. Кондратенка. — Миколаїв : Вид-во МФ НаУКМА, 2002. — 208 с.
- [6] **Нестеров, А.Л.** Проектирование АСУТП [Текст] / А.Л. Нестеров. — М. : ДЕАН, 2009. — 944 с.
- [7] **Пат. 109579 Российская Федерация, МПК G05B15/02.** Блок автоматического регулирования (БАР) [Текст] / Мякишев Д. В., Тархов Ю. А., Столяров К. А. ; заявитель и патентообладатель ООО НПП «Комплексы и системы». — № 2010150427/08 ; заявл. 08.12.10 ; опубл. 20.10.11. — 2 с.
- [8] **Пат. 2951 Україна, МПК C09D 161/00, C09D 5/08.** Система охолодження доменної печі [Текст] / Бондаренко В. В., Абсалямів Ю. Г., Шеремет В. О. [та ін.] ; заявник і патентоотримувач Відкрите акціонерне товариство виробничо-технічне підприємство «Укренергочормет» ; Криворізький державний гірничо-металургійний комбінат «Криворіжсталь». — № 20031211999 ; заявл. 22.12.03 ; опубл. 15.09.04, Бюл. № 9/2004. — 2 с.
- [9] **Пат. 7239 Україна, МПК B22D11/04.** Система охолодження робочих стінок кристалізатора установки безперервного лиття заготовок [Текст] / Чувакін В. О., Скринченко Е. Г., Вовк В. М. [та ін.] ; заявник і патентоотримувач Український державний інститут по проектуванню металургійних заводів. — № 20041109131 ; заявл. 08.11.04 ; опубл. 15.06.05, Бюл. № 6. — 4 с.
- [10] **Пат. 2426943 Российская Федерация, МПК F22D5/26.** Система регулювання питания водой барабанного парогенератора [Текст] / Демин А. М. ; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» (ИГЭУ). — № 2009133747/06 ; заявл. 08.09.09 ; опубл. 20.08.11. — 2 с.
- [11] **Пат. 44981 Україна, МПК F25B19/04.** Система рідинного охолодження електронної апаратури [Текст] / Попов О. Я., Мірошніченко М. І., Каспирович О. Г. [та ін.] ; заявник і патентоотримувач Товариство з обмеженою відповідальністю «Нова інтернаціональна корпорація». — № 2000063331 ; заявл. 07.06.00 ; опубл. 15.03.02, Бюл. № 3. — 2 с.
- [12] **Пат. 52840 Україна, МПК F23G5/027, C10G1/00.** Спосіб утилізації органічних відходів [Текст] / Маркіна Л. М., Рудюк М. В., Бабій В. П. ; заявник і патентоотримувач Приватне підприємство виробничо-комерційна фірма «Теплоелектронсервіс». — № 2001031804 ; заявл. 19.03.01 ; опубл. 15.01.03, Бюл. № 1. — 5 с.
- [13] **Рижков, С.С.** Експериментальні дослідження утилізації органічних відходів методом багатоконтурного циркуляційного піролізу [Текст] / С.С. Рижков, Л.М. Маркіна // Зб. наук. пр. НУК. — Миколаїв : НУК, 2007. — № 5 (416). — С. 100–106.
- [14] Системы судовых энергетических установок [Текст] : учеб. пособие / Г. А. Артемов, В. П. Волошин, А. Я. Шквар [и др.]. — 2-е изд., перераб. и доп. — Л. : Судостроение, 1990. — 376 с.

- [15] **Скоробогатова, И. В.** Исследование и разработка системы автоматического управления температурными режимами в томильной зоне методической нагревательной печи [Электронный ресурс] / И. В. Скоробогатова. — Режим доступа: <http://masters.donntu.edu.ua>.
- [16] **Суворова, Е. А.** Проектирование цифровых систем на VHDL [Текст] / Е. А. Суворова, Ю. Е. Шейнин. — С.Пб. : БХВ-Петербург, 2003. — 576 с.
- [17] **Хряпченков, А. С.** Судовые вспомогательные и утилизационные котлы [Текст] / А. С. Хряпченков. — Л. : Судостроение, 1988. — 296 с.