

## ДОДАТОК А

Графічний матеріал кваліфікаційної роботи



Харківський національний університет радіоелектроніки

Кафедра «Електронних обчислювальних машин»

Кваліфікаційна робота

на тему:

# **Модель перспективного керуючого автомату паралельної дії**

Виконав: ст. гр. СПМ-23-5

**Олег ДРОЗД**

Керівник: к.т.н., доцент Станіслав БОВЧАЛЮК

2025

1



## **Актуальність теми дослідження**

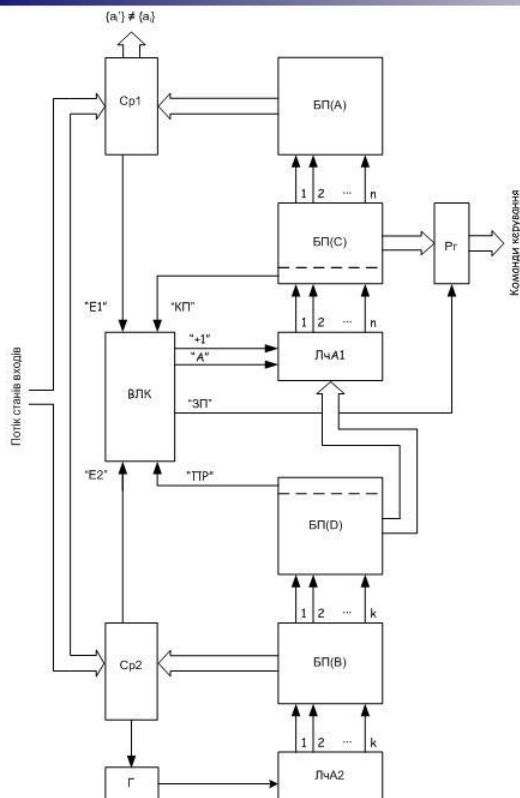
Вдосконалення внутрішньої організації ЛКА ПД є найперспективнішим напрямом у контексті подальшого розвитку інформаційної технології паралельного логічного керування. Однак, попри свою значущість, цей напрям демонструє ознаки стагнації, оскільки аналіз моделей і структур програмованих керуючих автоматів паралельної дії свідчить про їх «негнучкість», «закритість» або, фактично, реалізацію за допомогою «жорсткої логіки». Тобто підходи, що використовуються для їх побудови, у значній мірі залишаються консервативними та орієнтованими на фіксовані, незмінні архітектури, що обмежує адаптивність до нових вимог. Впровадження додаткового функціоналу, такого як програмовані таймери або лічильники, безумовно, розширює можливості ЛКА ПД. Проте це не усуває головну проблему, яка полягає у жорсткій архітектурній фіксованості, що була успадкована ще з епохи побудови ПЛК на основі дискретних ІМС. У сучасних умовах, коли контролери реалізуються на програмованих логічних інтегральних схемах, зберігання фіксованої структури контролера не дає змоги повною мірою використати переваги ПЛІС-технологій. Зокрема, не реалізується їх головна перевага – архітектурна гнучкість, яка дозволяє створювати індивідуалізовані, спеціалізовані структури контролера, орієнтовані на конкретні прикладні задачі. Натомість, у більшості реалізацій спостерігається лише адаптація жорстких, уніфікованих структур та розробка програмного забезпечення під них, що знижує ефективність, ускладнює масштабування та не сприяє розвитку інженерних інновацій.

2

## Мета дослідження

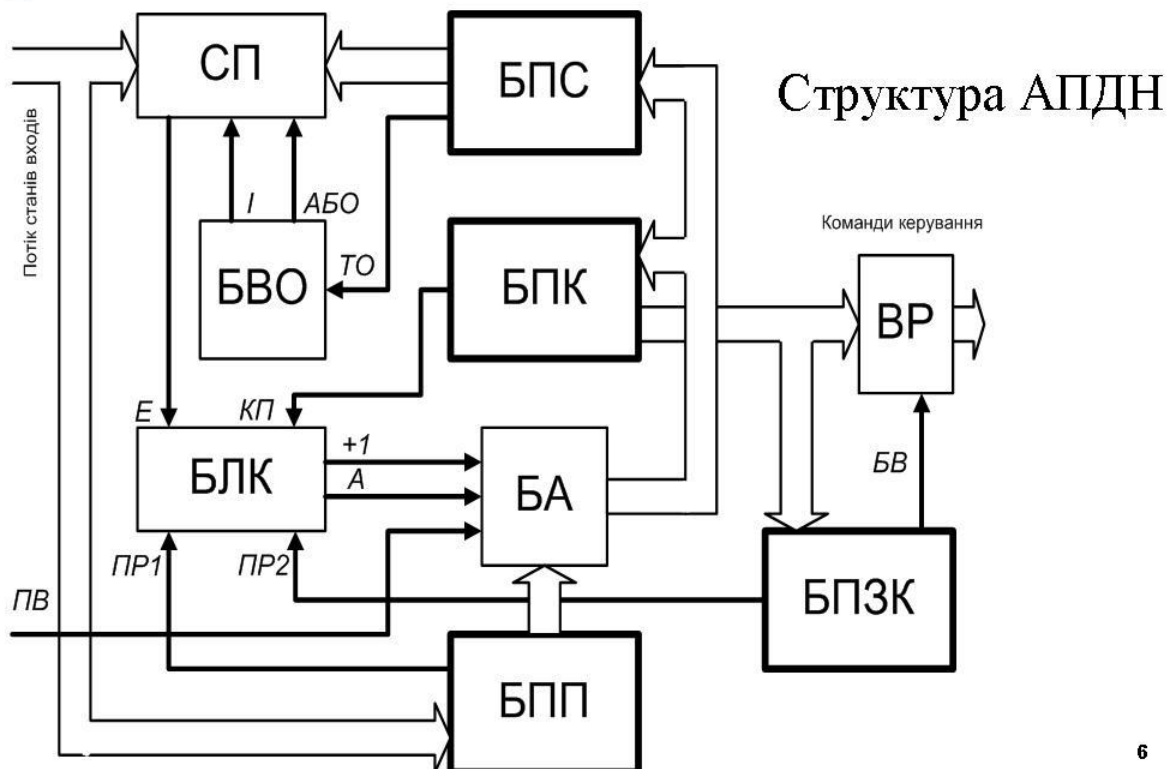
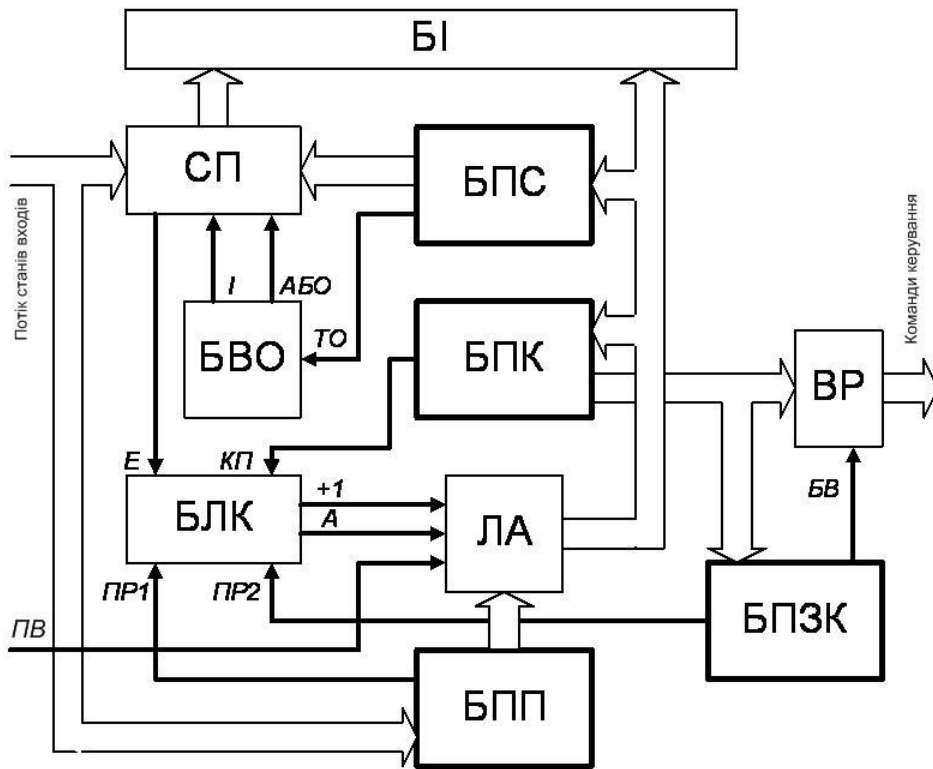
Отже головною метою кваліфікаційної роботи є розробка «гнучкої» або «модульної» архітектури керуючих автоматів паралельної дії та створення підґрунтя для побудови математичної та HDL-моделей таких автоматів.

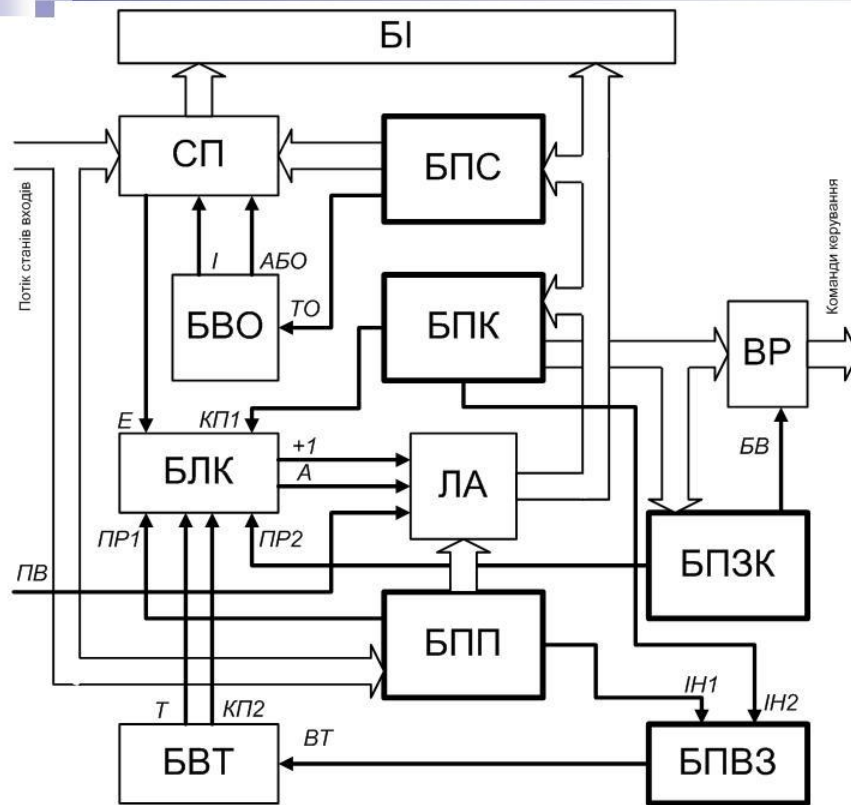
3



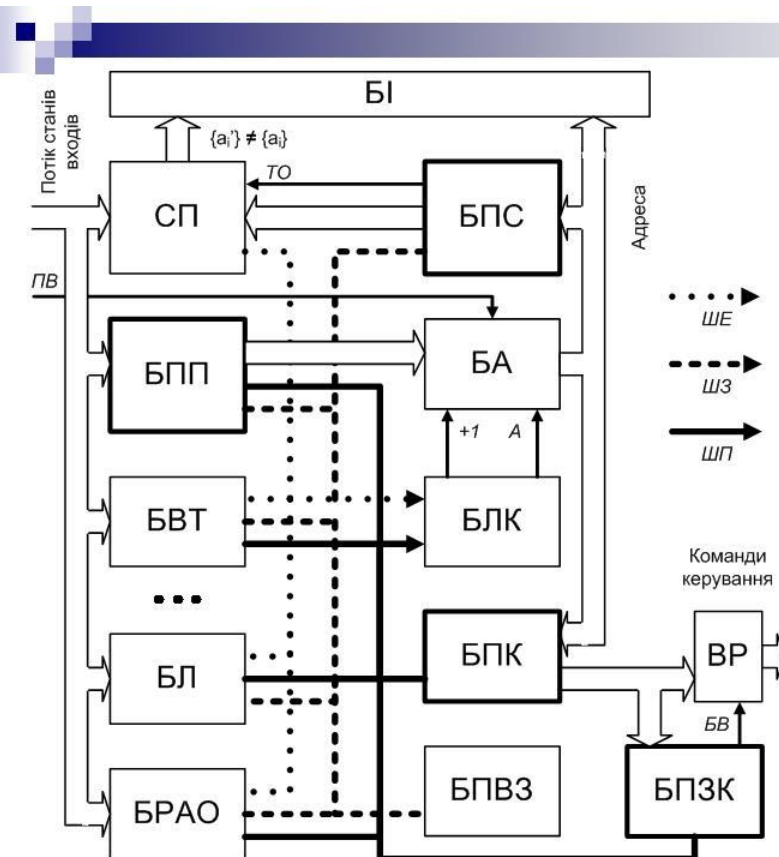
Архітектура  
універсального  
ПЛК  
паралельної дії,  
що побудована  
на дискретних  
ІМС

4

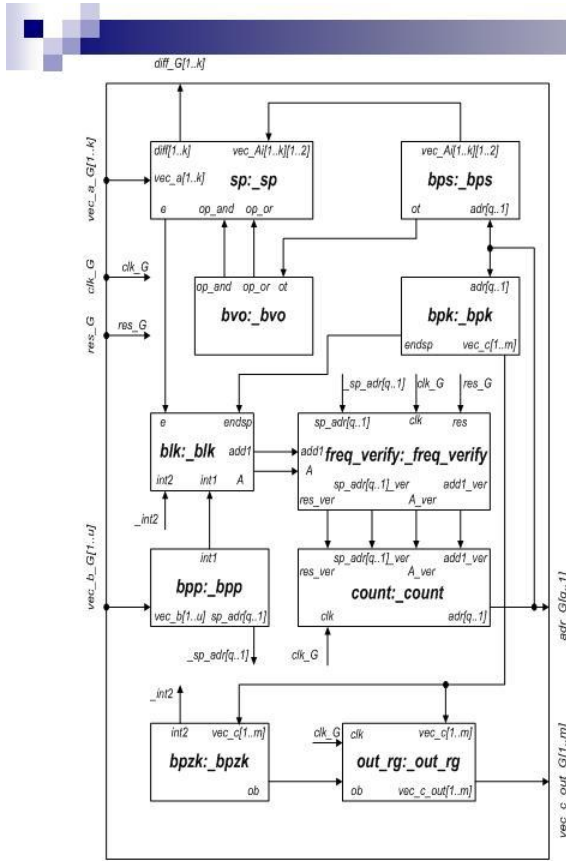




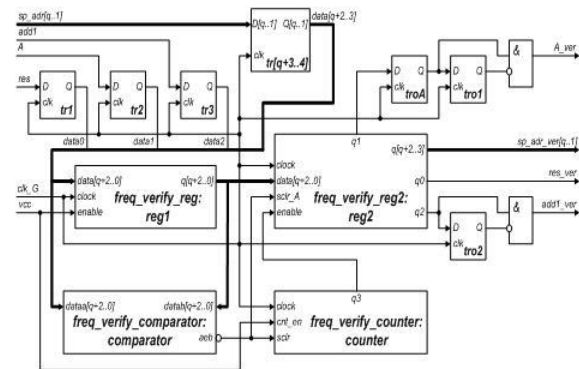
Структура ЛКА ПД з реалізацією внутрішніх програмованих таймерів



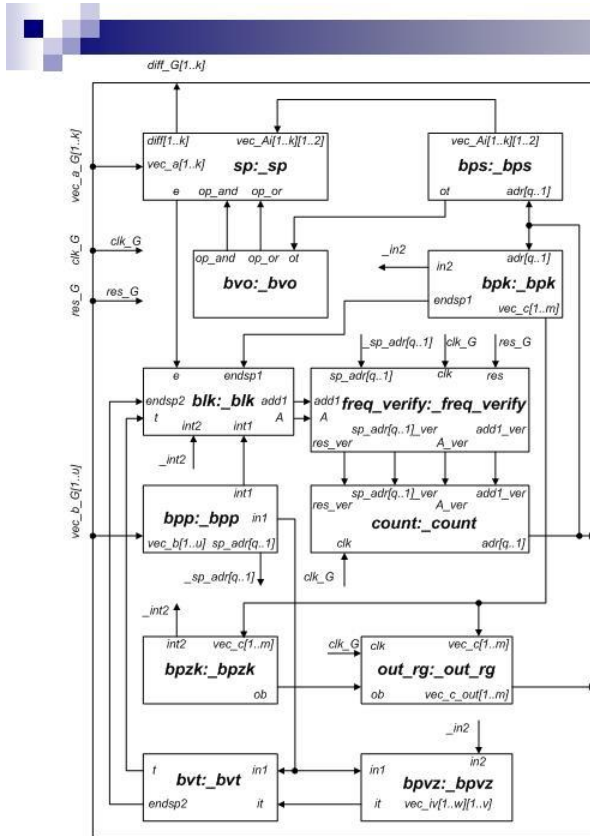
Пропонована структура модульного керуючого автомату паралельної дії - МЛКА ПД



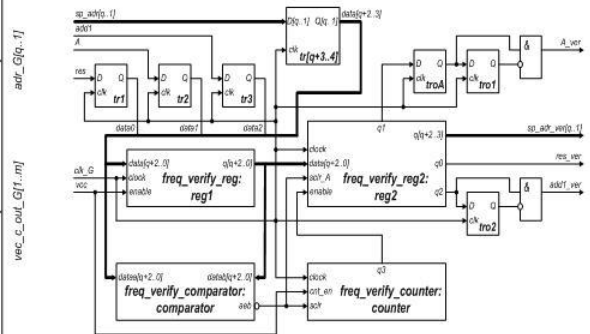
## HDL-модель сучасного ПЛІС-контролера паралельної дії



9



## HDL-модель ЛКА ПД з функціоналом програмованих користувачем таймерів



10





## Висновки

У результаті виконаних досліджень усунуто такий недолік керуючих пристроїв з паралельною архітектурою, як їх фактична побудова за принципом «жорсткої логіки», або недовикористання можливостей створення «гнучких» систем керування на базі сучасних кристалів ПЛІС.

Запропонована концепція «модульної архітектури» керуючих пристроїв паралельної дії дозволяє створювати «гнучку» структуру логічних керуючих автоматів. Саме на базі цієї концепції з'являється можливість синтезувати структури МЛКА із заданою функціональністю у залежності від конкретних задач системи керування, що будується на його основі.

## ДОДАТОК Б

## Наукові публікації за темою кваліфікаційної роботи

ISSN 2073-7394

Системи управління, навігації та зв'язку. 2025. №2

УДК 681.5

doi: 10.26906/SUNZ.2025.2.

С. Я. Бовчалюк<sup>1</sup>, Н. І. Бовчалюк<sup>2</sup>, О. Ю. Дрозд<sup>1</sup><sup>1</sup>Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна<sup>2</sup>Державний біотехнологічний університет, Харків, Україна

### КОНЦЕПЦІЯ «МОДУЛЬНОЇ АРХІТЕКТУРИ» КЕРУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ ПАРАЛЕЛЬНОЇ ДІЇ

**Анотація.** **Актуальність.** Публікації, що присвячені інформаційній технології паралельного логічного керування, або окремим її складовим частинам (керуючим пристроям з паралельною архітектурою, мови і технології їх програмування) показують, що вона є перспективною у плані реалізації систем керування переважно об'єктами критичної дії. У той же час спроби її застосування для об'єктів загального промислового сектору зіштовхуються з проблемами обмеженої функціональності, або скоріше з необхідністю розширення виконуваних функцій, тобто адаптації структури контролера паралельної дії для розв'язання конкретних задач. Прикладами таких удосконалень можуть бути введення функціоналу нечіткого логічного висновку, внутрішніх таймерів, лічильників до структури класичного керуючого автомата паралельної дії. Таким чином реалізація «гібридної» структури подібних автоматів дозволить значно спростити задачу побудови контролера паралельної дії із заданими функціональними можливостями. **Метою даної роботи** є теоретичне обґрунтування можливості побудови «гібридної» структури логічних керуючих автоматів паралельної дії, формулювання концепції «модульної архітектури», а також реалізація структури перспективного ЛКА ПД у відповідності до цієї концепції. **Висновок.** У результаті виконаних досліджень усунуто такий недолік керуючих пристроїв з паралельною архітектурою, як їх фактична побудова за принципом «короткої логіки», або недоанкористання можливостей створення «гібридної» систем керування на базі сучасних кристалів ПЛІС. Запропоновано концепцію «модульної архітектури» керуючих пристроїв паралельної дії, що дозволяє створювати «гібридну» структуру відповідних логічних керуючих автоматів. На базі цієї концепції синтетизовано структуру модульного керуючого автомата з можливістю реалізації заданої функціональності у залежності від конкретних задач системи керування, що будується на його основі.

**Ключові слова:** інформаційна технологія паралельного логічного керування, логічний керуючий автомат паралельної дії, програмований логічний контролер паралельної дії, ПЛІС-контролер, структура ЛКА ПД, модульний логічний керуючий автомат.

#### Вступ

З часу публікації структури сучасного керуючого пристрою паралельної дії, що вже можна назвати класичною [1-3], пройшло майже двадцять років. За цей час було виконано низку досліджень, результатом яких стало формування інформаційної технології паралельного логічного керування (ІТПЛК) [4], як поєднання технічних пристроїв (логічних керуючих автоматів паралельної дії (ЛКА ПД), програмованих логічних контролерів паралельної дії (ПЛК ПД), ПЛІС-контролерів паралельної дії), мови (ЯПЛК, ЯПЛК-М) та технології їх програмування (Technological Visual Programming – TVP).

У зв'язі останніх робіт, що стосуються ІТПЛК, показано основні тенденції та напрями розвитку керуючих пристроїв з паралельною архітектурою – програмованих логічних контролерів паралельної дії або ПЛІС-контролерів паралельної дії. Так в [5] визначено три основні шляхи, або траєкторії, що пройшли складові ІТПЛК, які коротко можна сформулювати наступним чином:

- 1) реалізація ПЛК ПД на більш сучасній елементній базі [6-8];
- 2) удосконалення мови і технології програмування ПЛК ПД [9-11];
- 3) розвиток і удосконалення внутрішньої організації логічних керуючих автоматів паралельної дії [1, 3, 12-14].

Перша складова, на теперішній час, не має перспектив розвитку, оскільки відбувся остаточний перехід від побудови ПЛК ПД на дискретних ІМС малого ступеня інтеграції, до їх реалізації на базі кристалів ПЛІС. На думку авторів, станом на зараз не існує мікроелектронних структур, що є більш перспективними для побудови керуючих пристроїв з паралельною архітектурою, ніж кристали сучасних ПЛІС. Залишається лише питання вибору виробника кристалу (AMD-Xilinx або Intel-Altera) та мови опису апаратних засобів (AHDL, VHDL, VerilogHDL).

Друга вказана складова є достатньо перспективною але, переважно, передбачає адаптацію технології TVP до змін, що відбуваються у структурній організації ПЛК ПД. Прикладом можуть бути підтримка з боку TVP програмованих користувачем таймерів [14], або, у перспективі, лічильників, тощо. Тобто друга складова є повністю залежною від розвитку ІТПЛК за третьою складовою.

Таким чином саме третя вказана траєкторія є найбільш перспективною у плані розвитку технології ІТПЛК. Але саме цей напрямок, має усі ознаки стагнації, бо, як показано в [14]: «аналіз моделей і структур програмованих керуючих автоматів паралельної дії свідчить про їх «негнучкість», «закритість» або, фактично, реалізацію за допомогою концепції «короткої логіки». При цьому введення додаткового функціоналу ЛКА ПД у вигляді таймерів або, у перспективі, лічильників, елементів виконання арифметичних операцій, тощо, не ліквідує самої

суті проблеми. Справа у тому, що сам підхід до створення ПЛК ПД повторює побудову ПЛК на дискретних елементах. Таким чином явно недовикористовується «гнучкість» ПЛС-технологій, тобто можливість створювати спеціалізовану архітектуру контролера під конкретну задачу, а не тільки пристосовувати вже існуючу «коретку» структуру та створювати спеціалізоване програмне забезпечення для нього.

Перш ніж переходити безпосередньо до розв'язання вказаної вище проблеми, необхідно обов'язково зазначити дуже важливі особливості ЛКА ПД, які власне і визначають основні переваги керуючих пристроїв паралельної дії у порівнянні з класичними пристроями керування послідовної дії. Вони свого часу були сформульовані професором І.О. Фурманом: «принципова відмінність описаної структури від відомих структур мікропрограмних автоматів полягає в тому, що управління процесом відпрацювання програми відбувається не від імпульсів тактового генератора, як у мікропрограмних автоматах, побудованих за класичною схемою Вілкса і її удосконаленим варіантам, і не потоком команд, як в ПЛК послідовної дії, а потоком станів входів, тобто потоком, що формують в асинхронній послідовності інтервалів дискретного автоматного часу «дозволені» (такі що відповідають запрограмованій комбінації фактичних станів керованого об'єкта та зовнішнього середовища. Крім того, паралельна реалізація операцій над булевими векторами в автоматі дозволяє оперувати машинними словами довільної довжини». [4, 15]. Таким чином, головною відмінністю ЛКА ПД, порівняно з автоматами послідовної дії, є можливість одночасного («за один такт дискретного автоматного часу») обслуговування практично необмеженого числа контрольованих входів і формування команд керування для практично необмеженої кількості виконавчих механізмів.

Метою роботи є теоретичне обґрунтування можливості побудови «гнучкої» структури логічних керуючих автоматів паралельної дії, формування концепції «модульної архітектури», а також реалізація структури перспективного ЛКА ПД у відповідності до цієї концепції.

#### Основна частина

Базовою, для побудови сучасних керуючих пристроїв паралельної дії, можна уважати структуру, що показана на рис.1 [3]. Саме її покладено в основу промислових зразків ПЛС-контролерів паралельної дії на кристалах компанії Intel-Altera [8]. Також результатом її розвитку є логічні керуючі автомати з розширеними функціональними можливостями [12-14].

Основа показаного керуючого автомату складають чотири блоки пам'яті: станів, переходів, команд і заборонених комбінацій – БПС, БПП, БПК і БПЗК відповідно. Базову логіку роботи ЛКА забезпечують схема порівняння (СП), лічильник адреси (ЛА) та блок логічного керування (БЛК). Ще три блоки – індикації (БІ), вибору операцій (БВО) та

вхідний регістр (ВР) призначені для реалізації додаткових індикаторних функцій, розширення функціоналу логічного порівняння та фіксацію і (або блокування) команд керування відповідно.

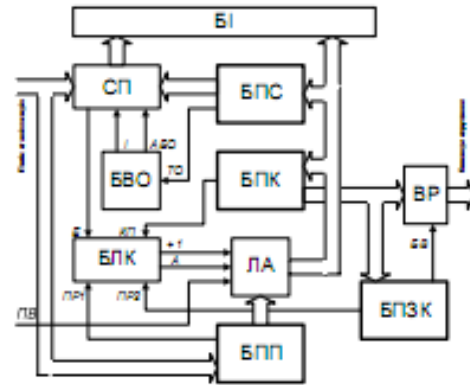


Рис. 1 Структура ЛКА паралельної дії

Принцип реалізації базових функцій логічного керування відбувається за рахунок перевірки істинності рівнянь (1) і (2), що зафіксовані у блоці логічного керування:

$$A = КП \vee ПП1 \vee ПП2, \quad (1)$$

$$+1 = E \wedge \overline{КП} \wedge \overline{ПП1} \wedge \overline{ПП2}, \quad (2)$$

де КП – ознака кінця підпрограми; ПП1 – ознака переривання від БПП; ПП2 – ознака переривання від БПЗК; А – початкова адреса підпрограми; Е – сигнал еквівалентності; +1 – сигнал переходу до наступного рядка.

Дуже стисло розглянемо принцип роботи ЛКА ПД, з яким детально можна ознайомитись у [3, 4].

Процес відпрацювання керуючої програми складається з двох етапів або частин: 1) аналіз комбінацій станів датчиків умов переходів (станів зовнішнього середовища) і формування початкової адреси підпрограми; 2) власне відпрацювання обраної підпрограми.

За вибір початкової адреси підпрограми відповідає блок пам'яті переходів, який, у разі появи на його вході однієї із запрограмованих комбінацій, встановлює ЛА у відповідній даній комбінації стан. Таким чином реалізується виконання рівняння (1), тобто істинною стає рівність  $КП=A$  і БЛК формує сигнал «А» (Адреса), за яким лічильник адреси переадресує БПС і БПК на перший рядок обраної підпрограми. В останньому рядку кожної підпрограми, а також у нульовому рядку програми записується тільки ознака кінця підпрограми «КП», що використовується як дозвіл переходу керуючого автомата до відпрацювання будь-якої із записаних у блоці пам'яті підпрограм.

Власне відпрацювання обраної підпрограми відбувається за рахунок реалізації рівняння (2). Якщо рівність виконується, то БЛК формує сигнал «+1», за яким ЛА адресує БПС і БПК на наступний





(БПВЗ), призначеним для їх постійного або тимчасового зберігання.

Слід зазначити, що БВНЕ можуть бути призначені як до усіх трьох шин, так і до лише однієї з них. Прикладом може слугувати БПС, що призначений лише до ШЗ. Саме за рахунок появи такого нового

зв'язку значно розширюється функціональність формування умов переходу на наступний крок поточної підпрограми за рахунок появи можливості оперативної (у процесі роботи) зміни умов, що записані до БПС.

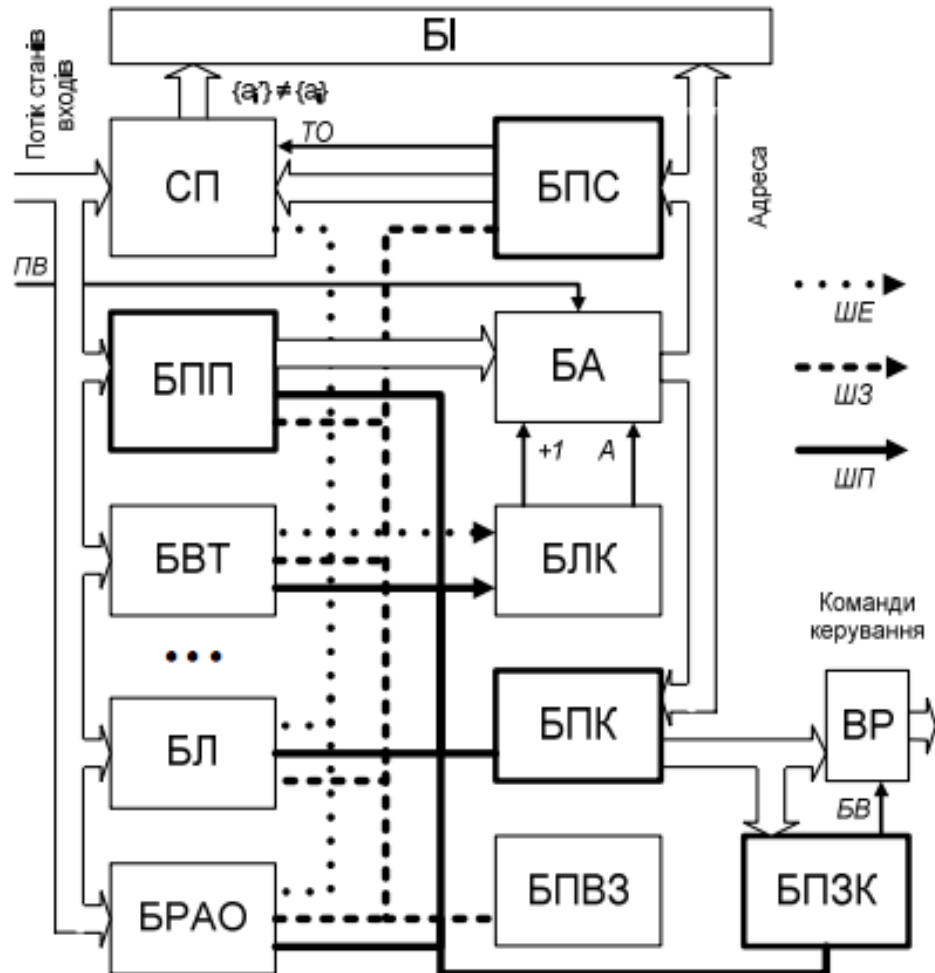


Рис. 5 Структура модульного логічного керування паралельної дії

Значимо, що функціональність блоку логічного керування (БЛК), у порівнянні із структурою на рис. 1, значно розширилась. Із ключових моментів слід вказати наступне: у зв'язку з можливістю одночасної появи декількох активних сигналів на шині ШП, з'являється необхідність чіткого встановлення їх пріоритетів для визначення тієї підпрограми до якої має відбутись перехід на наступному етапі роботи обладнання.

Як можна побачити на рис. 5 сигнал «БВ» (блокування виходу), як і у більш ранніх структурах,

формує блок пам'яті заборонених комбінацій, а не БЛК. Хоча за поточною логікою БПЗК є звичайним блоком визначення наступного етапу, що підключений до шини переривань і команду на заборону видачі команд керування виконавчими механізмами мав би формувати БЛК. Таке рішення обумовлено тим, що тільки таким чином може бути забезпечена реалізація «безпечного» ПЛІС-контролера паралельної дії [4, 16, 17], тобто має бути забезпечене відокремлене розташування елементів БПЗК і ВР на кристалі ПЛІС, а в найкращому випадку для них має

бути використано окремий кристал ПЛІС. Також вкажемо, що найвищий пріоритет на шині ШПЗ завжди має сигнал переривання саме від блоку БПЗК (у випадку його присутності у структурі конкретного МЛКА ПД).

Якщо говорити про функціональність блоку індикації, то на рис. 5, як і раніше, показано його підключення до лінії адреси поточного рядка програми і лінії індикації нееквівалентності схеми порівняння  $\{a_i\} \neq \{a_i\}$ . Таким чином може бути забезпечена функціональна діагностика роботи технологічного об'єкта [15]. Але враховуючи гнучкість пропозиційної структури, БІ може виконувати значно ширше коло задач, тобто на етапі конфігурації кристала ПЛІС може бути підключений до будь-якої з шин або сигналів МЛКА ПД (наприклад на етапі прототипування, налагодження або діагностики обладнання).

Окремо слід приділити увагу деяким аспектам реалізації блоку БРАО у перспективних проєктах МЛКА ПД. В [5] обґрунтовано необхідну умову для його інтеграції до систем керування паралельної дії – паралельний принцип його роботи, тобто виконання арифметичних операцій за один такт дискретного автоматного часу. Це обумовлюється тим, що як було показано в [4, 11, 15], ПЛК ПД відрізняється від класичних ПЛК виконанням операцій за один такт дискретного автоматного часу (фізично тактів може бути більше через особливості структурної організації і функціонування кристала ПЛІС). В той же час арифметичні операції передбачають послідовний принцип свого виконання. Це пов'язано, зокрема, з наявністю переносів з молодшого розряду у старший. Це принципово протиріччя розв'язати лише за рахунок реорганізації або простого вдосконалення структури ЛКА ПД неможливо.

Одним з можливих і, на думку авторів, найбільш перспективним підходом подолання цього протиріччя є використання системи залишкових класів (СЗК), або числової системи залишків (ЧСЗ) англ. Residue Number System [18-20]. Спроби інтеграції, або щонайменше, згадки застосування СЗК у контексті побудови систем керування паралельної дії наведено у [6]. Але, нажаль, до сих пір спроб

реалізації реальних інженерних рішень або теоретичних структур керуючих автоматів паралельної дії, що мають у своєму складі обчислювальні елементи на базі СЗК не має.

Неважко показати, що пропонується структура МЛКА ПД дозволяє реалізувати керуючий пристрій паралельної дії з будь-якою (у межах задекларованих можливостей) функціональністю. Так у випадку використання лише чотирьох стандартних блоків БВНЕ (БПС, БПП, БПК і БПЗК), отримуємо структуру класичного ЛКА ПД, а додавши блоки БВТ і БПВЗ, отримуємо структуру, що за своєю функціональністю відповідає ЛКА, що показано на рис 4. І, зрозуміло, що пропонується концепція «модульності» дозволить реалізувати контролери паралельної дії із функціями, про які у рамках поточної публікації не йшлося і які будуть запропоновані лише у майбутньому.

На останок необхідно зазначити, що концепція «модульної архітектури» ЛКА ПД – це лише перший етап у розробці перспективних ПЛІС-контролерів паралельної дії. На наступному етапі постає необхідність внесення змін до мови їх програмування ЯПЛК-М (а фактично створення нової мови, також за принципом «модульності»), а також реалізація підтримки з боку технології програмування TVP.

## Висновки

У результаті виконаних досліджень усунуто такий недолік керуючих пристроїв з паралельною архітектурою, як їх фактична побудова за принципом «жорсткої логіки», або невикористання можливостей створення «гнучких» систем керування на базі сучасних кристалів ПЛІС.

Запропоновано концепцію «модульної архітектури» керуючих пристроїв паралельної дії, що дозволить створювати «гнучку» структуру відповідних логічних керуючих автоматів. На базі цієї концепції синтезовано структуру модульного керуючого автомата з можливістю реалізації заданої функціональності у залежності від конкретних задач системи керування, що будується на його основі.

## Список літератури

1. Бовчалок С. Я. Вдосконалення архітектури програмованих логічних контролерів паралельної дії / С. Я. Бовчалок, І. О. Фурман, М. Л. Малиновський // Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України: Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка, вип. 37, том 2 – Харків, 2005. – С. 164–168.
2. Бовчалок С. Я. Вдосконалення архітектури, мови програмування та технічної реалізації ПЛК паралельної дії // Міжнародна науково-технічна конференція «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ-2005»: Тези доповідей. – Харків: Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», 2005. – С. 290.
3. Бовчалок С. Я. Вдосконалення математичної моделі та архітектури логічних керуючих автоматів паралельної дії / С. Я. Бовчалок, І. О. Фурман // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2006. – №3(59). – С. 72–76.
4. Бовчалок С. Я. Моделі, методи і засоби інформаційної технології паралельного логічного керування об'єктами залізничної автоматизації: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / Бовчалок Станіслав Ярославович. – Харків, 2008. – 203 с.
5. Бовчалок С. Я. Визначення напрямків розвитку керуючих пристроїв з паралельною архітектурою на базі ПЛІС / С. Я. Бовчалок, О. М. Пісарьова, С. С. Радченко, [та ін.] // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. – Полтава: ПНТУ, 2023. – Випуск 1 (71). – С. 69-72 DOI: 10.26906/SUNZ.2023.1.069.

6. Фурман І. О. Концепція, методи і засоби моделювання на ПЛІС контролера і процесора з паралельною архітектурою / І. О. Фурман, В. А. Краснобаєв, С. Я. Боначалок [та ін.] // Автомобільний транспорт: Зб. наукових праць, вип. 16. – Харків, 2005. С. 338–341.
7. Боначалок С. Я. HDL-модель програмованого логічного керуючого автомата паралельної дії / С. Я. Боначалок, І. О. Фурман // *Радіоелектроніка і комп'ютерні системи*. – 2007. – №6 (25). – С. 202–205.
8. Боначалок С. Я. Технічна реалізація промислового зразка ПЛІС-контролера паралельної дії / С. Я. Боначалок, І. О. Фурман, М. С. Дерезько [та ін.] // *Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України: Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка*, вип. 87. – Харків, 2009. – С. 126–127.
9. Боначалок С. Я. Методологія побудови, синтаксису і семантики мови програмування ПЛІС-контролера паралельної дії / С. Я. Боначалок, І. О. Фурман // *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. – 2007. – № 4 (66). – С. 38–44.
10. Боначалок С. Я. Концепція розробки технологічної мови для програмування ПЛІС-контролера паралельної дії / С. Я. Боначалок, І. О. Фурман // *Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України: Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка*, вип. 57, том 2 – Харків, 2007. – С. 133–138.
11. Ilya Furman. Development and study of technological visual programming of logic control problems / Ilya Furman, Stanislav Bovchaliuk, Alexander Alashev, Aleksey Piskarev // *Eastern-European Journal of Enterprise technologies*, – 2017. – № 6/2 (90). – P. 23–31. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.118833
12. Тимчук С. О. Реалізація функцій нечіткого логічного керування на базі автомата паралельної дії для інтелектуальних електричних мереж / С. О. Тимчук, С. Я. Боначалок, І. О. Фурман [та ін.] // *Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України: Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка*, вип. 196. – Харків, 2018. – С. 86–88.
13. 13. Serhii Tymchuk. The Architecture of Fuzzy Logic Automat of Parallel Action for the Intelligent Smart Grid Networks / Serhii Tymchuk, Stanislav Bovchaliuk, Vira Shendryk, Sergii Shendryk *New Technologies, Development and Application III. NT 2020. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 128. Springer, – 2020. – P. 462–468. DOI:10.1007/978-3-030-46817-0\_53
14. Боначалок С. Я. Розвиток моделі та структури керуючих пристроїв з паралельною архітектурою / С. Я. Боначалок, Я. В. Гарашенко, Б. М. Коломоєць [та ін.] // *Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць*. – Полтава: ПНТУ, 2024. – Випуск 2 (76). – С. 64–66. DOI: 10.26906/SUNZ.2024.2.064
15. Фурман І. О. Науково-технічні основи створення і промислового застосування програмованих логічних контролерів на програмованих ВІС з матричною структурою: дис. ... докт. техн. наук: 05.13.05 / Фурман Ілля Олександрович. – К., 1989. – 197 с.
16. Боначалок С. Я. Вдосконалення алгоритму функціонування програмованого логічного контролера паралельної дії / С. Я. Боначалок, І. О. Фурман // *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. – 2007. – №2 (64). – С. 38–42.
17. Боначалок С. Я. Розвиток архітектури ПЛК паралельної дії: від абстрактної моделі паралельного автомата до інженерної реалізації безчипового ПЛІС-контролера / С. Я. Боначалок, І. О. Фурман, М. Л. Матвиюк // *Енергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК*. 2016. – №. 2 (5). – С. 62–66.
18. Akushkiy I, Iuditskiy D. Mashinnaia arifmetika v osobnykh klassakh: M., Radio i Sviaz, 1968. 444 s.
19. Краснобаєв В. А. Основи властивості непозиційної системи числення у класі ланків і їх вплив на структуру та принцип реалізації арифметичних операцій комп'ютерної системи / В. А. Краснобаєв, С. О. Копман, В. М. Курчанова [та ін.] // *Системи управління, навігації та зв'язку*, 2019. – Вип. 2(54) – С. 114–118.
20. Krasnobaev, V., Koshman, S., & Kovalchuk, D. (2022). THE CONCEPT OF PERFORMING THE ADDITION OPERATION IN THE SYSTEM OF RESIDUAL CLASSES. *Advanced Information Systems*, 6(1), 43–47. DOI: 10.20998/2522-9052.2022.1.07

Received (Надійшло) 06.02.2025

Accepted for publication (Прийнято до друку) 24.02.2025

#### The concept of «module architecture» control devices of parallel action

Stanislav Bovchaliuk, Nataliya Bovchaliuk, Oleg Drozd

**Abstract. Topicality.** Publications devoted to the information technology of parallel logic control, or its individual components (control devices with parallel architecture, language and technology of their programming) show that it is promising in terms of implementing control systems mainly for critical objects. At the same time, attempts to use it for general industrial sector facilities face problems of limited functionality, or rather the need to expand the functions performed, i.e., to adapt the structure of parallel-action controllers to solve specific problems. Examples of such improvements include the introduction of fuzzy inference functionality, internal timers, and counters into the structure of a classical parallel-action control automaton. Thus, the implementation of a “flexible” structure of such automata will greatly simplify the task of building parallel-action controllers with specified functionalities.

**The purpose of this paper** is to theoretically substantiate the possibility of building a “flexible” structure of logic control automata of parallel action, to formulate the concept of “modular architecture”, and to implement the structure of a promising LCA PA in accordance with this concept. **Conclusion.** As a result of the research, such a disadvantage of control devices with a parallel architecture as their actual construction on the principle of “hard logic” or underutilization of the possibilities of creating “flexible” control systems based on modern FPGA crystals has been eliminated. The concept of a “modular architecture” of parallel-acting control devices is proposed, which allows creating a “flexible” structure of the corresponding logic control automata. On the basis of this concept, the structure of a modular control automaton is synthesized with the possibility of implementing a given functionality depending on the specific tasks of the control system built on its basis.

**Keywords:** information technology of parallel logic control, parallel-action logic control automaton, programmable logic controller of parallel action, CPLD controller, structure of LCA PA, module logic control automaton.