

С. Я. БОВЧАЛЮК

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри електронних обчислювальних машин  
Харківський національний університет радіоелектроніки  
ORCID: 0000-0002-3046-5904

Н. І. БОВЧАЛЮК

асистент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій  
Державний біотехнологічний університет  
ORCID: 0009-0004-5929-2981

## РОЗВИТОК МОВИ ПРОГРАМУВАННЯ КЕРУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ ПАРАЛЕЛЬНОЇ ДІЇ

У роботі проведено дослідження сучасних тенденцій розвитку елементів інформаційної технології паралельного логічного керування (ІТПЛК), показано, що розробка систем керування технологічним обладнанням на її базі є перспективною не тільки для об'єктів критичного застосування, а і для більш масового промислового обладнання. Така можливість ґрунтується на відсутності залежності кількості контрольованих входів і керованих виходів від швидкодії контролера та можливості реалізації автоматизованого створення керуючих програм неспеціалістом в області програмування і на спрощених мовах. Важливим кроком у напрямку більш масового застосування ІТПЛК слід уважати застосування принципово нового підходу до побудови керуючих автоматів паралельної дії – принципу модульності. Враховуючи, що за останній час розвиток ІТПЛК включав в основному зміни в структурній організації логічних керуючих автоматів паралельної дії, визначено перспективи і підходи реалізації технологічного візуального програмування (Technological Visual Programming – TVP) на базі модульного керуючого автомата паралельної дії, показано, що ця технологія дозволяє у повній мірі розкрити усі переваги паралельного логічного керування технологічним обладнанням.

Запропоновано концепцію реалізації перспективної мови програмування керуючих пристроїв паралельної дії, що отримала назву TVPL. Показано, що ця мова, на відміну від мови програмування класичних паралельних керуючих структур ЯПЛК-М, враховує усі особливості архітектурної організації сучасних керуючих автоматів і контролерів паралельної дії на базі ПЛІС і у повній мірі дозволяє розкрити переваги TVP-технології програмування. Таким чином сформовано розуміння і підходи до реалізації комплексу технічних засобів і програмного забезпечення ПЛІС-контролерів паралельної дії на базі МЛКА ПД у рамках сучасного розуміння інформаційної технології паралельного логічного керування.

**Ключові слова:** інформаційна технологія паралельного логічного керування, технологічне візуальне програмування, мова програмування ЯПЛК-М, мова програмування TVPL, логічний керуючий автомат паралельної дії, модульний логічний керуючий автомат, ПЛІС-контролер паралельної дії.

S. YA. BOVCHALIUK

PhD, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Electronic Computers  
Kharkiv National University of Radio Electronics  
ORCID: 0000-0002-3046-5904

N. I. BOVCHALIUK

Assistant at the Department of Automation and Computer-Integrated Technologies  
State Biotechnological University  
ORCID: 0009-0004-5929-2981

## DEVELOPMENT OF THE PROGRAMMING LANGUAGE FOR PARALLEL ACTION CONTROL DEVICES

The paper studies current trends in the development of parallel logical control information technology (PLCIT) elements and shows that the development of control systems for technological equipment based on this technology is promising not only for critical applications but also for more widespread industrial equipment. This possibility is based



*on the absence of dependence of the number of controlled inputs and controlled outputs on the speed of the controller and the possibility of automated creation of control programs by non-specialists in the field of programming and in simplified languages. An important step towards the more widespread use of PLCIT should be considered the application of a fundamentally new approach to the construction of parallel action control automata – the principle of modularity. Considering that recent developments in PLCIT have mainly involved changes in the structural organization of parallel action logic control machines, the prospects and approaches for implementing technological visual programming (TVP) based on a modular parallel action control machine have been identified, and it has been shown that this technology allows the full advantages of parallel logical control of technological equipment to be realized.*

*A concept for implementing a promising programming language for parallel control devices, called TVPL, has been proposed. It is shown that this language, unlike the programming language of classical parallel control structures ЯПЛК-М, takes into account all the features of the architectural organization of modern control automata and parallel action controllers based on FPGA and fully allows to reveal the advantages of TVP programming technology. Thus, an understanding and approaches to the implementation of a complex of technical means and software for CPLD-controllers of parallel action based on MLCA PA have been formed within the framework of the modern understanding of information technology of parallel logical control.*

**Keywords:** *parallel logical control information technology, technological visual programming, ЯПЛК-М programming language, TVPL programming language, parallel action logical control automaton, modular logical control automaton, CPLD-controller of parallel action.*

### Постановка проблеми

Питанням створення систем керування технологічним обладнанням на базі інформаційної технології паралельного логічного керування (ІТПЛК) за останні понад двадцять років присвячено достатньо багато наукових робіт різних авторів. Але, як показано наприклад в [1], це обладнання, або технологічні процеси переважно відносяться до об'єктів або систем критичного застосування (СКР), що значно обмежує області та перспективи застосування ІТПЛК. У той же час неодноразово вказувалось, що ця технологія характеризується низкою особливостей, що позитивно відрізняє її від класичних систем керування послідовної дії на базі, наприклад, програмованих логічних контролерів (ПЛК) [1-3]. Серед найбільш важливих особливостей або переваг слід зауважити на наступних двох: відсутності залежності кількості контрольованих входів і керованих виходів від швидкодії контролера та можливості реалізації технологічного візуального програмування (TVP-технології) для автоматизованого створення керуючих програм неспеціалістом в області програмування і на спрощених мовах.

Перша згадана перевага впливає з особливостей побудови логічних керуючих автоматів паралельної дії (ЛКА ПД), як технічної бази побудови ІТПЛК. Головною відмінністю автоматів такого типу, у порівнянні з класичними автоматами послідовної дії, є можливість одночасного («за один такт дискретного автоматного часу») обслуговувати практично необмежене число контрольованих входів і формування команд керування для практично необмеженої кількості виконавчих механізмів. У той час, як друга перевага «дозволяє значно зменшити кількість помилок у програмному кодї, пришвидшити процес його формування, уникнути непорозумінь між спеціалістом з технологічного процесу (технологом) і спеціалістом з програмування (програмістом)» [3, 4]. Таким чином вдосконалення елементів ІТПЛК та адаптація до сучасних вимог дозволила б поширити сфері її застосування не тільки на технологічні об'єкти СКР, але і на системи реального часу (СРЧ), або навіть систем керування масовим промисловим обладнанням.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

У роботі [5] авторами зроблено ретроспективний огляд складових елементів ІТПЛК, наведено сфери її застосування і приклади реалізації промислових зразків та цілих комплексів керування обладнанням, що створені на її базі. Саме у цій роботі фактично викристалізувалось розуміння того, що технологія перейшла у фазу стагнації через те, що, як показано в [2]: «аналіз моделей і структур програмованих керуючих автоматів паралельної дії свідчить про їх «негнучкість», «закритість» або, фактично, реалізацію за допомогою концепції «жорсткої логіки»». За ті вісім років, що пройшли між вказаними публікаціями, було виконано декілька спроб надати нового імпульсу технології паралельного керування на базі ПЛІС-контролерів паралельної дії (ПД) за рахунок уведення апарату нечіткого логічного висновку та програмованих користувачем таймерів [6-9, 2]. Також у цих та низці інших робіт надано обґрунтування можливості виконання ПЛІС-контролерами ПД арифметичних операцій на базі системи залишкових класів та реалізації вбудованих лічильників.

Аналіз структур ЛКА ПД [7, 8, 2] показує, що з уведенням додаткових функцій до класичного автомату паралельної дії [4] значно ускладнюється його внутрішня будова, зникає притаманна йому простота і «прозорість» опису функціонування. Також стає зрозумілим, що використаний підхід не має необхідної гнучкості та універсальності. У результаті було сформульовано концепцію «модульної архітектури» керуючих пристроїв паралельної дії, яка усуває вказані недоліки. Таким чином останньою відомою структурою керуючих автоматів паралельної дії можна уважати «модульний логічний керуючий автомат паралельної дії» (МЛКА ПД) [10].

Слід також вказати, що практично усі наукові публікації останніх років, які стосуються ІТПЛК, були присвячені розвитку і вдосконаленню саме архітектури ЛКА ПД, у той час як питанням технології їх програмування

уваги практично не приділялось. Опис безпосередньо мови програмування керуючих структур паралельної дії ЯПЛК-М наведено в роботах [11, 12], а базовим матеріалом, що надає детальну характеристику TVP-технології програмування керуючих пристроїв паралельної дії, є робота [3]. Саме цей матеріал може слугувати відправною точкою для реалізації технологічного візуального програмування ПЛІС-контролерів ПД на базі МЛКА ПД.

#### Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є розробка концепції вдосконаленої мови програмування МЛКА ПД у рамках реалізації технологічного візуального програмування керуючих структур паралельної дії. Як мова, так і технологія програмування мають враховувати особливості «модульної архітектури» сучасних паралельних керуючих автоматів, а також забезпечувати відповідну гнучкість для подальшого розвитку інформаційної технології паралельного логічного керування.

#### Викладення основного матеріалу дослідження

Перш ніж безпосередньо переходити до реалізації вдосконаленої мови МЛКА ПД необхідно з'ясувати які саме зміни необхідно внести до мови ЯПЛК-М і чим вони обумовлені. Для цього розглянемо архітектуру класичного ПЛІС-контролера ПД [1] (рис. 1) і порівняємо її з архітектурою МЛКА ПД [10] (рис. 2), при цьому акцентувавши увагу на відмінностях, що впливають саме на мову програмування, а не безпосередньо на процес функціонування показаних структур. Принциповою відмінністю нової структури є так звана шинна організація взаємодії блоків вибору наступного етапу – БВНЕ, тобто блоків, що безпосередньо приймають участь у формуванні сигналів «+1» і «А».

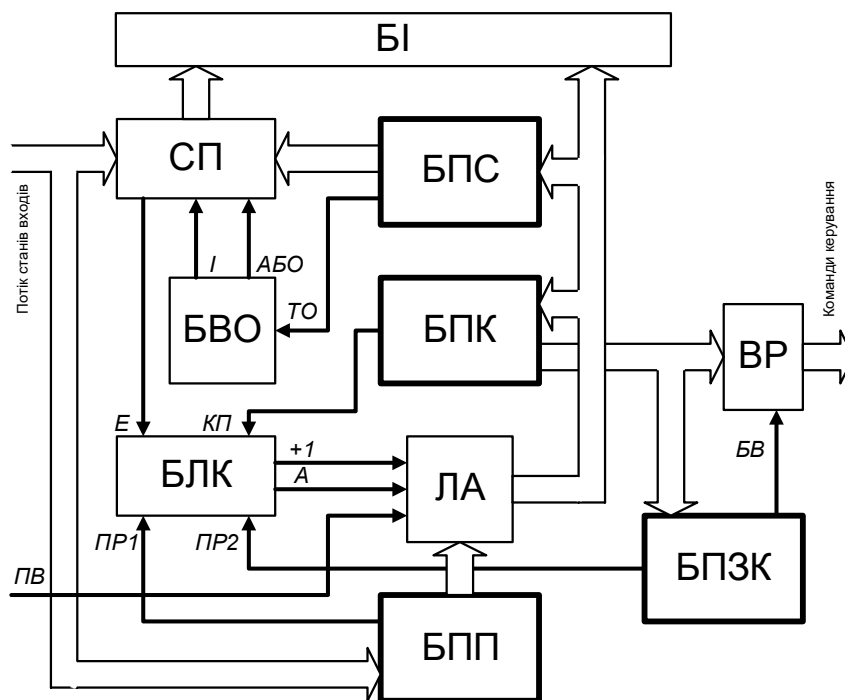


Рис. 1. Структура ПЛІС-контролера паралельної дії

Звернемо увагу на те, що мовою програмування ЯПЛК-М, табличний запис 1 (адрес переходів) визначає початкові адреси керуючих і аварійних підпрограм, тобто описує процедуру формування сигналу «А» у відповідній структурі (рис. 1), а табличний запис 2 (технологічних і аварійних підпрограм) описує процедуру формування сигналу «+1». Аналіз фрагменту програми керування промисловим роботом мовою ЯПЛК-М (рис. 3, 4) дозволяє зробити декілька дуже важливих висновки з точки зору розуміння побудови вдосконаленої мови програмування керуючих пристроїв на базі МЛКА ПД:

- табличний запис 1 містить відомості про умови формування адреси переходу на перший рядок наступної підпрограми (тобто фактично умови формування сигналу «А») і кількість таких умов чітко визначається відповідною кількістю блоків структури ЛКА ПД або ПЛІС-контролера ПД, що «відповідають» за цей процес;
- табличний запис 2 включає умови переходу на наступний рядок поточної підпрограми (тобто фактично умови формування сигналу «+1») і являє собою повний набір можливих підпрограм, але ініціатором такого переходу в структурі ЛКА ПД може бути лише єдиний блок СП за посередництва сигналу еквівалентності «Е» (рис. 1), що ним формується.

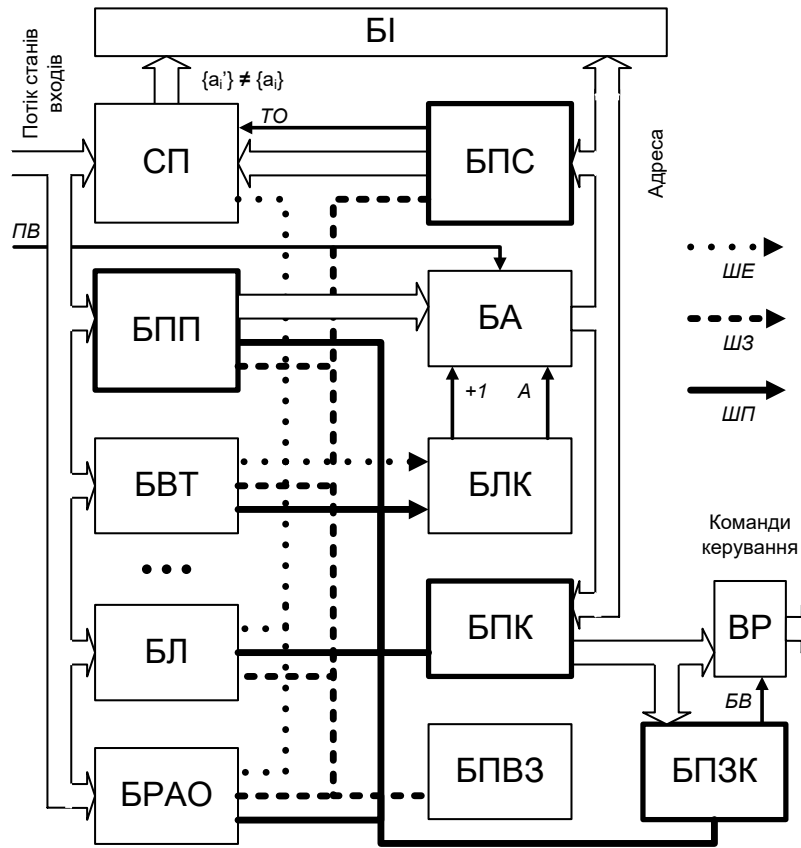


Рис. 2. Структура керуючого автомата паралельної дії модульного типу

Найменування комбінації станів датчиків і команд керування, що визначають початкові адреси технологічних і аварійних підпрограм, а також заборонені комбінації керуючих сигналів	Стани датчиків (стохастичних входів)																Команди керування				Сума заборонені комбінації ПР2	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	1	2	3	4		
Підпрограма 1: перевантаження з Р1-1 (SQ11)	10	10	10																	0	7	0
Підпрограма 2: перевантаження з Р1-1 (SQ11)	10	10		10																0	18	0
Підпрограма 3: перевантаження з Р1-1 (SQ11)	10	10			10															0	26	0
Підпрограма 4: перевантаження з Р1-2 (SQ12)	10		10	10																0	40	0
Підпрограма 5: перевантаження з Р1-2 (SQ12)	10		10		10															0	51	0
Підпрограма 6: перевантаження з Р1-2 (SQ12)	10		10			10														0	62	0
Підпрограма 7: повернення ПР у вихідне положення з Р1-1	10						10													0	1	0
Підпрограма 8: повернення ПР у вихідне положення з Р1-2	10							10												0	1	0
Підпрограма 9: повернення ПР у вихідне положення з Зм2-1	10								10											0	3	0
Підпрограма 10: повернення ПР у вихідне положення з Зм2-2	10									10										0	3	0
Підпрограма 11: повернення ПР у вихідне положення з Зм2-3	10										10									0	3	0
Аварійна ситуація 1: світ устипу, ПР рухається вправо	10											10	10							1	73	0
Аварійна ситуація 2: світ устипу, ПР рухається вліво	10												10	10						1	73	0
Аварійна ситуація 3: зустрічний рух ПР і ПРn+1	10													10	10					1	73	0
Аварійна ситуація 4: зустрічний рух ПР і ПРn-1	10														10	10				1	73	0
Аварійна ситуація 5: аварійна утримка обладнання	10	10																		1	73	0
Заборонена комбінація 1: одночасна видача команд на зчеплений приводу ПР вправо і вліво																	10	10		0	1	
Заборонена комбінація 2: одночасна видача команд на зчеплений приводу підняття і опускання світу																		10	10		0	1
Заборонена комбінація 3: одночасна видача команд на зчеплений стискаючий і розтискаючий світу																			10	10		0

Рис. 3. Приклад програми мовою ЯПЛК-М (табличний запис 1)

Таким чином, враховуючи, що блоки БВНЕ у структурі МЛКА ПД так само визначають формування сигналів «А» і «+1», можна, по аналогії з [11] сформулювати основні положення щодо концепції реалізації мови програмування пристроїв, що побудовані на базі керуючих автоматів паралельної дії модульного типу. Отже керуюча програма являє собою набір виконаних за певними правилами формалізованих (табличних) записи:



технологічного візуального програмування. Програма керування технологічним обладнанням мовою TVPL являє собою набір взаємопов'язаних табличних записів: Transition Address Tables (таблиці адрес переходів); Subprogram Aggregation Tables (таблиці сукупності підпрограм), Internal Variables Tables (таблиці внутрішніх змінних). Таким чином сформовано розуміння і підходи до реалізації комплексу технічних засобів і програмного забезпечення ПЛІС-контролерів паралельної дії на базі МЛКА ПД у рамках сучасного розуміння інформаційної технології паралельного логічного керування.

### Список використаної літератури

1. Бовчалюк С. Я., Піскар'юв О. М., Радченко С. С., Слабухо Д. О. Визначення напрямків розвитку керуючих пристроїв з паралельною архітектурою на базі ПЛІС. *Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць*. Полтава: ПНТУ, 2023. Вип. 1 (71). С. 69–72. DOI: 10.26906/SUNZ.2023.1.069
2. Бовчалюк С. Я., Гаращенко Я. В., Коломоєць Б. М., Коломоєць В. С. Розвиток моделі та структури керуючих пристроїв з паралельною архітектурою. *Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць*. Полтава: ПНТУ, 2024. Вип. 2 (76). С. 64–66. DOI: 10.26906/SUNZ.2024.2.064
3. Puya Furman, Stanislav Bovchaliuk, Alexander Allashev, Aleksey Piskarev Development and study of technological visual programming of logic control problems. *Eastern-European Journal of Enterprise technologies*. 2017. Vol. 6/2 (90). P. 23–31. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.118833
4. Бовчалюк С. Я. Моделі, методи і засоби інформаційної технології паралельного логічного керування об'єктами залізничної автоматики: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06. Харків, 2008. 203 с.
5. Бовчалюк С. Я., Фурман І. О., Малиновський М. Л. Розвиток архітектури ПЛК паралельної дії: від абстрактної моделі паралельного автомата до інженерної реалізації безпечного ПЛІС-контролера. *Енергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК*, 2016. № 2 (5). С. 62–66.
6. Бовчалюк С. Я., Тимчук С. О., Фурман І. О., Піскар'юв О. М. Безпечний ПЛІС-контролер паралельної дії, як інтелектуальне ядро Smart Grid. *Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України: Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка*, Харків, 2017. Вип. 187. С. 51–53.
7. Тимчук С. О., Бовчалюк С. Я., Фурман І. О., Азацький Р. В. Реалізація функцій нечіткого логічного керування на базі автомата паралельної дії для інтелектуальних електричних мереж. *Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України: Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка*, Харків, 2018. Вип. 196. С. 86–88.
8. Serhii Tymchuk, Stanislav Bovchaliuk, Vira Shendryk, Sergii Shendryk. The Architecture of Fuzzy Logic Automat of Parallel Action for the Intelligent Smart Grid Networks Development and Application III. *NT 2020. Lecture Notes in Networks and Systems*. Springer, 2020 Vol. 128. P. 462–468. DOI:10.1007/978-3-030-46817-0\_53
9. Бовчалюк С. Я., Тимчук С. О., Фурман І. О., Піскар'юв О. М. Перспективи побудови інтелектуальних мереж SMART GRID бази ПЛІС-технологій. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, 2017. № 5 (134). С. 80–85. ISSN 1997–9266
10. Бовчалюк С. Я., Бовчалюк Н. І., Дрозд О. Ю. Концепція «модульної архітектури» керуючих пристроїв паралельної дії. *Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць*. Полтава: ПНТУ, 2025. Вип. 2 (80). С. 47–53. DOI:10.26906/SUNZ.2025.2.47-53
11. Фурман І. О., Бовчалюк С. Я. Концепція розробки технологічної мови для програмування ПЛІС-контролерів паралельної дії. *Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України: Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка*. Харків, 2007. Вип. 57, том 2. С. 133–138.
12. Бовчалюк С. Я., Фурман І. О. Методологія побудови, синтаксис і семантика мови програмування ПЛІС-контролерів паралельної дії. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*, 2007. № 4 (66). С. 38–44.

### References

1. Bovchaliuk S. Piskarov O., Radchenko S., Slabukho. D. (2023) Vyznachennya napryamkiv rozvytku keruyuchykh prystroyiv z paralel'noyu arkhitekturoyu na bazi PLIS [Determining the development directions of control devices with parallel architecture based on CPLD]. *Control, navigation and communication systems. Academic journal*. Poltava: PNTU, vol. 1(71), pp. 69–72. (in Ukrainian). DOI: 10.26906/SUNZ.2023.1.069
2. Bovchaliuk S., Garaschenko Ya., B., Kolomoyets' V. (2024) Rozvytok modeli ta struktury keruyuchykh prystroyiv z paralel'noyu arkhitekturoyu [Development of a model and structure of control devices with parallel architecture] *Control, navigation and communication systems. Academic journal*. Poltava: PNTU, vol. 2(76), pp. 64–66. (in Ukrainian). DOI: 10.26906/SUNZ.2024.2.064
3. Puya Furman, Stanislav Bovchaliuk, Alexander Allashev, Aleksey Piskarev (2017) Development and study of technological visual programming of logic control problems *Eastern-European Journal of Enterprise technologies*, vol. 6/2 (90), pp. 23–31. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.118833
4. Bovchaliuk S. (2008) *Models, methods and information technology tools for parallel logical control of railway automation objects*: dissertation ... candidate of technical sciences: 05.13.06. Kharkiv, 203 p.

5. Bovchaliuk S., Furman I., Malinovsky V. (2016) Rozvytok arkhitektury PLK paralel'noyi diyi: vid abstraktnoyi modeli paralel'noho avtomata do inzhenernoyi realizatsiyi bezpechnoho PLIS-kontrolera [Development of parallel PLC architecture: from an abstract model of a parallel automaton to an engineering implementation of a safe CPLD-controller] *Energy and computer-integrated technologies in the agricultural sector*, vol. №. 2 (5), pp. 62–66. (in Ukrainian).
6. Bovchaliuk S., Tymchuk S., Furman I., Piskarev A. (2017) Bezpechnyy PLIS-kontroler paralel'noyi diyi, yak intelektual'ne yadro Smart Grid [Safe parallel CPLD-controller as the intelligent core of Smart Grid]. *Problems of energy supply and energy saving in the agro-industrial complex of Ukraine: Bulletin of the Petro Vasylenko KhNTUSG*, issue 187, pp. 51–53. (in Ukrainian).
7. Tymchuk S., Bovchaliuk S., Furman I., Azatckiy R. (2018) Realizatsiya funktsiy nechitkoho lohichnoho keruvannya na bazi avtomata paralel'noyi diyi dlya intelektual'nykh elektrychnykh merezh [Implementation of fuzzy logic control functions based on parallel action automaton for smart power grids]. *Problems of energy supply and energy saving in the agro-industrial complex of Ukraine: Bulletin of the Petro Vasylenko KhNTUSG*, issue 196, pp. 86–88. (in Ukrainian).
8. Serhii Tymchuk, Stanislav Bovchaliuk, Vira Shendryk, Sergii Shendryk (2020) The Architecture of Fuzzy Logic Automat of Parallel Action for the Intelligent Smart Grid Networks *Development and Application III. NT 2020. Lecture Notes in Networks and Systems*. Springer, vol. 128, pp. 462–468. DOI:10.1007/978-3-030-46817-0\_53
9. Bovchaliuk S., Tymchuk S., Furman I. (2017) Perspektyvy pobudovy intelektual'nykh merezh SMART GRID bazi PLIS-tehnolohiy [Prospects for building SMART GRID intelligent networks based on FPGA technologies]. *Bulletin of Vinnytsia Polytechnic Institute*, vol. 5 (134), pp. 80–85. (in Ukrainian). ISSN 1997–9266
10. Bovchaliuk S., Bovchaliuk N., Drozd O. (2025) Kontseptsiya «modul'noyi arkhitektury» keruyuchykh prystroyiv paralel'noyi diyi [The concept of «modular architecture» of parallel control devices]. *Control, navigation and communication systems. Academic journal*, Poltava: PNTU, vol. 2(80), pp. 47–53. (in Ukrainian). DOI: DOI:10.26906/SUNZ.2025.2.47-53
11. Furman I., Bovchaliuk S. (2007) Kontseptsiya rozrobky tekhnolohichnoyi movy dlya prohramuvannya PLIS-kontroleriv paralel'noyi diyi [Concept of developing a technological language for programming parallel CPLD-controllers]. *Problems of energy supply and energy saving in the agro-industrial complex of Ukraine: Bulletin of the Petro Vasylenko KhNTUSG*, issue 57 vol. 2, pp. 133–138. (in Ukrainian).
12. Bovchaliuk S., Furman I. (2007) Metodolohiya pobudovy, syntaksys i semantyka movy prohramuvannya PLIS-kontroleriv paralel'noyi diyi [Construction methodology, syntax and semantics of the programming language of parallel CPLD-controllers]. *Information and control systems in railway transport*, vol. 4 (66), pp. 38–44. (in Ukrainian).

Дата першого надходження статті до видання: 19.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 24.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 07.05.2026