

# КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ, СИСТЕМИ ТА ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

УДК 621.316.13

## КОНЦЕПЦІЯ ПОБУДОВИ АВТОМАТА ПАРАЛЕЛЬНОЇ ДІЇ ІЗ НЕЧІТКОЮ ЛОГІКОЮ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ЯДРА SMART GRID

Бовчалоук С. Я., Тимчук С. О., Фурман І. О.

*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка*

*В статті розглянуті деякі проблеми технічного стану енергетичного сектору України і визначені напрямки можливого їх подолання. Визначено перспективи розвитку енергетики країни у загальносвітовому напрямку інтелектуальної енергетики на базі концепції Smart Grid. Наведено спробу формування концепції реалізації функцій логічного керування в нечіткій формі на базі технології паралельного логічного керування, а також сформульовано загальний підхід до побудови автоматів паралельної дії із нечіткою логікою.*

**Постановка проблеми.** Сучасні електричні мережі України знаходяться на тому етапі, коли необхідно приймати рішення про подальшу стратегію їх розвитку і модернізації. Це обумовлено як їхнім технічним станом, так і загальним напрямком руху енергетичного співтовариства планети.

Розглянемо обидві складові. Перша – технічний стан електромереж країни. Значна їх частина (за деякими даними понад половина) мають 100% знос; якісною електроенергією забезпечено не більше двох третин користувачів; тривалість відключень сягає 100 годин і більше (що на порядок вище, ніж у розвинених країнах); втрати при передачі електроенергії неприпустимо великі (в середньому по країні за 2015 рік більше 12%, а за 2016 рік – 11,7%) і подекуди можуть сягати 40% [1]. Також слід згадати постійне збільшення навантаження на електромережі через зростання кількості споживачів і питомого споживання енергії ними. Окрім вищевказаних факторів додатковим викликом для енергетиків є стрімкий розвиток так званих "зелених" джерел енергії – вітроелектростанцій, сонячних станцій, тощо. Для цих джерел енергії характерними є: переважно невелика генерована потужність, її нестабільність (добова, погодна, тощо), розосередженість за електричними мережами і ще значна кількість характеристик, які не дозволяють достатньо просто інтегрувати такі джерела до існуючих мереж, без внесення певних значних змін до організації та обслуговування енергетичного господарства.

Друга складова – загальний напрямок руху енергетично розвинених країн, який відповідає вимогам забезпечення сталого розвитку. Основними тезами такого руху є нерозривність та узгодженість дій при забезпеченні трьох складових: енергозабезпеченні (безперебійному постачанні електричної енергії відповідної якості), енергодоступності (енергоощадності та доступності ціни на електроенергію), енергоприйнятності (мінімальному впливі на навколишнє середовище) [2].

Таким чином в Україні є унікальний шанс не просто модернізувати енергетичне господарство до рівня відповідності надання енергетичних послуг тех-

нічно і економічно розвиненими країнами, а відразу рухатись у напрямку побудови перспективної інтелектуальної енергетичної системи нового покоління.

**Аналіз стану питання.** Концепція інтелектуалізації електроенергетики має на меті побудову повністю інтегрованої, саморегульованої та самовідновлюваної системи, що має мережеву топологію і включає в себе всі генеруючі джерела, магістральні та розподільчі мережі, і всі види споживачів електричної енергії, які керуються єдиною мережею автоматизованих пристроїв у реальному часі [2]. Така концепція отримала загальносвітовий і загальноприйнятий термін – *Smart Grid*. Так за Європейським визначенням *European Technology Platform SmartGrids*: (інтелектуальні мережі) – це електричні мережі, що задовольняють майбутнім вимогам, щодо енергоефективності та економічності функціонування енергосистеми за рахунок скоординованого функціонування і за допомогою сучасних двосторонніх комунікацій між елементами електричних мереж, електричними станціями, акумулюючими джерелами та споживачами [3].

Світовими лідерами у розробці та впровадженні концепції *Smart Grid* є: США – *The Energy Independence and Security Act of 2007*; країни ЄС – *Smart Grid Technology Roadmap Report Development*; Південна Корея – *Smart Country Strategy Development* [2]. Ними запущені пілотні проекти різної ступені наповненості інтелектуальною складовою і різної ступені готовності, накопичуються експлуатаційні данні, поступово збільшується складність і об'єм інноваційних енергетичних хабів.

В Україні, на жаль, конкретних прикладів реалізації концепції *Smart Grid* поки нема (окрім певних елементів цієї технології у АР Крим у 2012-2014 роках). Окремі складові елементи і концептуальні рішення наведені, наприклад, в [4, 5].

Рух України у напрямку інтелектуалізації електромереж на базі концепції *Smart Grid* було анонсовано головою НЕК "Укренерго" Всеволодом Ковальчуком [6]. Так на 2018 рік заплановано реалізацію пілотного проекту технології *Smart Grid – Vehicle-to-Grid (V2G)* сумісної роботи електромобілів і електромережі. Також планується дослідження можливості використан-

ня груп технологій Demand Response – керування попитом на електроенергію і Virtual Power Plant – технологія віртуальних електростанцій.

В роботі [7] показано, що одним із перспективних напрямків реалізації елементів Smart Grid є застосування інформаційної технології паралельного логічного керування на базі безпечного ПЛІС-контролера паралельної дії. Слід зазначити, що ця технологія розроблялась і була практично реалізована для керування об'єктами безперервної циклічної дії, у тому числі критичного застосування (відповідальних, надійних, безвідмовних), але процеси в електричних мережах носять, переважно, невизначений характер і тому безпосереднє застосування вказаної технології в енергетиці не може дати значних переваг у порівнянні із класичними методами і технологіями послідовної дії. У той же час елементи нечіткої логіки і математики, що були застосовані при розв'язанні задач в [1], у поєднанні із інформаційною технологією паралельного логічного керування, на думку авторів, можуть дати ефективний інструмент для побудови елементів технічної реалізації Smart Grid.

**Мета статті.** Сформувані концепцію реалізації функцій логічного керування в нечіткій формі на базі автомата паралельної дії. Сформувані підхід до побудови елементів інтелектуальної енергетичної мережі у рамках концепції Smart Grid на базі автомата паралельної дії із нечіткою логікою (АПДН).

**Основні матеріали.** Перш ніж переходити до формування структури АПДН, задася питанням: чи є необхідність у застосування даного математичного апарату для побудови таких структур. На думку авторів для цього є щонайменше дві причини:

- 1) наявність невизначеності вхідних величин;
- 2) природна паралельність процедури нечіткого логічного висновку.

*Наявність невизначеності вхідних величин.* Як відомо, задачі прийняття рішення в енергетиці розв'язуються в умовах неповноти і невизначеності зовнішньої інформації, що призводить до отримання неточних результатів. У відповідності до [8] невизначеність має місце, якщо універсальна множина складається більше ніж з однієї точки. Якщо для цих елементів множини задані відповідні вірогідності, то має місце вірогіднісна характеристика; якщо відомі тільки граничні елементи – інтервальна невизначеність; якщо задати для кожного елемента множини відповідну степінь приналежності – нечіткість. Саме невизначеність виникає, наприклад, у процесі вимірювання параметрів, що визначають технологічні процеси в енергетиці. Такі невизначеності можуть мати різну природу: неточність (або погрішність) вимірювальних приладів; наявність різних значень при формуванні множинних вимірювань; опосередкованість вимірювань, наприклад через розосередженість за параметром або за територією; тощо. У таких випадках для класичних систем логічного керування застосовують детермінізацію (наприклад методом статистичного усереднення), таким чином або втрачаючи частину даних, або просто її ігноруючи.

*Природна паралельність процедури нечіткого логічного висновку.* Така природна паралельність дозволяє достатньо просто інтегрувати елементи реалізації

нечіткої логіки до структури класичних автоматів паралельної дії, таким чином розширивши їхню функціональність і напрямки застосування.

Отже у загальному вигляді процес формування вихідних команд АПДН має складатись із трьох етапів:

- процедури фазифікації вхідних величин;
- процедури нечіткого логічного висновку;
- процедури дефазифікації (формування команд керування).

Останній етап відсутній, якщо вихідні дані можуть бути представлені у нечіткій формі. Аналогічно, якщо вхідна інформація представлена у нечіткій формі, то перший етап також не виконується.

Заради історичної справедливості слід згадати пристрій для керування машиною для лиття під тиском [9], спрощена структура якого показана на рис. 1. На вказаній структурі блоки дискримінаторів Д1 і Д2 виконують фазифікацію із приведенням вхідних аналогових сигналів (Вхід 1, Вхід 2) до трьох рівнів – більше (>), норма (н), менше (<), блок логічної обробки (БЛО) жорстко задає алгоритм функціонування технологічного процесу, а вихідні регулятори Р1-Р3, у залежності від комбінацій вхідних сигналів – більше, норма або менше, формують сигнали керування обладнанням (Вихід 1 – Вихід 3), тобто фактично виконують функції дефазифікаторів.

Фактично показана структура являє собою автомат паралельної дії із *жорсткою логікою*, що був створений для керування конкретним обладнанням технологічної лінії лиття роторів електродвигунів. Він не передбачав програмування і був реалізований на дискретних елементах, що обмежило його застосування тільки обладнанням згаданого класу. Але принципи, закладені при його побудові дозволяють вважати його прообразом для АПДН, що розглядається у рамках даної публікації.

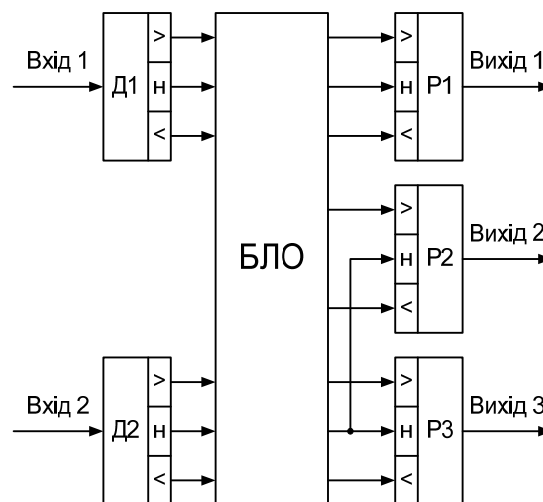


Рисунок 1 – Спрощена структура прототипу АПДН

Для синтезу структури АПДН розглянемо можливі варіанти вхідних даних автомата. В загальному вигляді вони можуть бути трьох типів:

- аналогові;
- цифрові двійкові;
- цифрові фазифіковані.

Аналогічні типи даних можуть бути реалізовані і на виходах автомата. Слід зауважити, що вхідні дані в аналоговій формі – явище достатньо розповсюджене, в той час як формування аналогових вихідних сигналів задача достатньо специфічна і тому розглядатись не буде.

Отже у загальному вигляді АПДН може бути представлений наступним чином (рис. 2), де:  $a_1...a_k$  –  $k$  цифрових двійкових входів;  $g_1...g_p$  –  $p$  аналогових входів;  $c_1...c_m$  –  $m$  цифрових двійкових виходів;  $fx_1...fx_n$  – входи фазифікованих даних;  $fy_1...fy_l$  – виходи фазифікованих даних. Причому фазифіковані вхідні і вихідні дані фактично являють собою звичайний двійковий код, наприклад для фазифікації за 8-ма рівнями – трьохрозрядний, для фазифікації за шістнадцятьма рівнями – чотирьохрозрядний (таким чином загальна кількість фазифікованих входів дорівнюватиме 8 на  $n$ , або 16 на  $n$ ). Аналогічні судження можна застосувати і для вихідних фазифікованих даних.

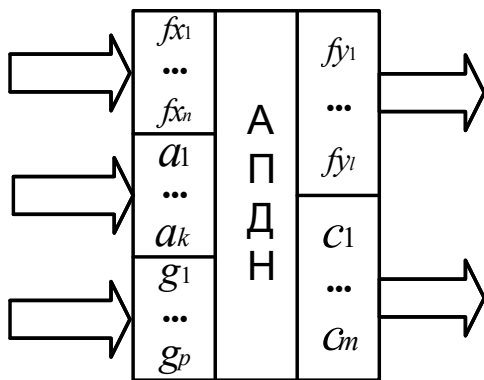


Рисунок 2 – узагальнена структура АПДН

Якщо розглянути цифрові фазифіковані і нефазифіковані дані, то можна дійти висновку, що двійкові данні можна представити як нечіткі, але із значенням  $\mu$ , що приймає лише два значення (0 і 1), у той час як для нечіткої форми значення  $\mu$  може приймати будь-яке значення у діапазоні від 0 до 1, наприклад для трикутної форми (рис. 3). У той же час цифрові дані після процедури фазифікації являють собою звичайний двійковий код певної розрядності – від двох і більше, що залежить від необхідної точності фазифікації (при однорозрядній фазифікації ми знову ж таки отримуємо звичайне двійкове число). Таким чином можна зробити висновок, що при синтезі структури АПДН обидва типи вхідних даних можуть бути представлені як набір двійкових чисел із кількістю  $k+zn$ , де  $z$  – розрядність даних при фазифікації.

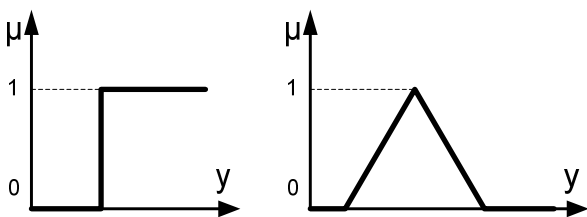


Рисунок 3 – Загальний вигляд функції  $\mu$  для даних у двійковій і нечіткій формі

Аналогічні міркування можна застосувати і при розгляді аналогових даних на вході автомата: перед їх обробкою обов'язково є процедура перетворення їх у цифрову форму. Тобто і аналогові дані у результаті аналого-цифрового перетворення будуть представлені паралельним цифровим двійковим кодом. Таким чином, вхідні дані для АПДН всіх згаданих типів фактично являють собою паралельний двійковий код певної розрядності. Так само і вихідні дані всіх типів можуть бути представлені аналогічним кодом.

Із вищевказаного можна зробити наступний висновок: класична структура логічного керуючого автомата паралельної дії (ЛКАПД) (рис. 4), наприклад показана в [10], може бути взята за основу при синтезі структури АПДН.

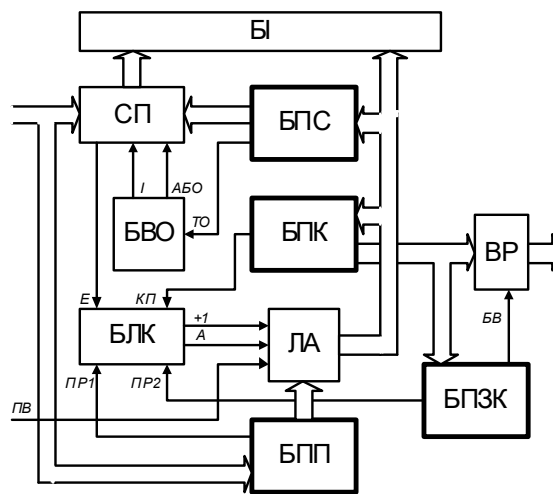


Рисунок 4 – Структура класичного ЛКАПД

ЛКАПД складається з наступних елементів: блоку індикації – БІ; схеми порівняння – СП; блоку вибору операцій – БВО; блоку логічного керування – БЛК; лічильника адреси – ЛА; вихідного регістру – ВР; а також блоків пам'яті станів, команд, переходів і заборонених комбінацій – БПС, БПК, БПП, БПЗК. Виходячи із принципів функціонування ЛКАПД [10] і задач, що ставляться перед АПДН, до структури останнього пропонується внести наступні зміни:

- виключити блоки БПЗК і ВР, що забезпечували неவிдача заборонених комбінацій вихідних команд керування, оскільки питання безпечності керування на даному етапі ще не розглядаються і не обґрунтовуються;

- виключити БІ, оскільки видача інформації про поточний стан вхідних даних не є актуальною. Інші блоки присутні в структурі АПДН, хоча і дещо змінюють своє функціональне значення. Пропонується узагальнена структура АПДН показана на рис. 5.

Робота АПДН відрізняється від роботи ЛКАПД, наступними особливостями:

- БПП втрачає свою основну функціональність із формування адреси переходу до підпрограми, а фактично, разом з БПК, виконує функції зберігання таблиці формування нечіткого логічного висновку;

- БПС може містити лише фрагменти послідовного виконання команд, якщо в них є необхідність. Якщо така детермінована послідовність відсутня, то

БПС виключається із структури;

- блок адресації (БА) виконує ті ж функції, що і ЛА в ЛУАПД, але тепер його основною функцією є формування нечіткого логічного висновку разом з БПП, а не послідовного відпрацювання рядків підпрограм, разом з БПС.

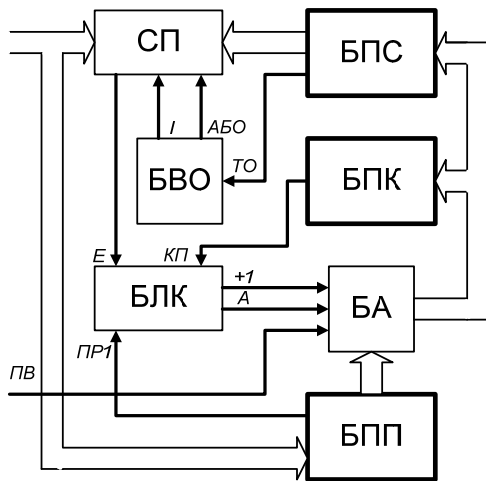


Рисунок 5 – Структура АПДН

**Висновок.** Отже проведені дослідження показали, що нечітка логіка є ефективним інструментом для керування енергетичним обладнанням, а також дозволяє реалізувати автомати паралельної дії для керування таким обладнанням за один такт дискретного автоматного часу. Також доведено, що базова структура ЛКАПД може бути взята за основу при синтезі узагальненої структури АПДН, що дозволяє перейти до практичного синтезу структур автоматів, їх HDL-моделей і фізичної реалізації.

#### Список використаних джерел

1. Тимчук С. А. Синтез оптимальной структуры распределительных электрических сетей при неопределенности исходной информации : монография / С. А. Тимчук, Н. М. Черемисин. – Харьков: ООО "В деле" 2016. – 270 с.
2. Стогній Б. С. Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні / Стогній Б. С., Кириленко О. В., Праховник А. В., Денисюк С. П. // Техн. електродинаміка. – 2012. – № 5. – С. 52–67.
3. Smart Grid – European Technology Platform for Electricity Networks of the Future. – European Commission, 2005. [Electronic resource] - Mode of access: <http://www.smartgrids.eu/>.
4. В. І. Васильченко. Цифрова підстанція складова системи "Smart Grid" / Васильченко В. І. [та ін.] // Електротехніка і електромеханіка. – 2014. – №6. – С. 72–76.
5. Стасюк О. І. Методи організації інтелектуальних електричних мереж залізниць на основі концепції Smart Grid / О. І. Стасюк, Л. Л. Гончарова, В. Ф. Максимчук // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2014. – №2. – С. 29–37.
6. Smart Grid и будущее украинских сетей // Сети

и бизнес. – 2016. – №6 (91). – С. 8–9.

7. Безпечний ПЛІС-контролер паралельної дії, як інтелектуальне ядро Smart Grid / С. Я. Бовчалоук, С. О. Тимчук, І. О. Фурман [та ін.] // Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України: Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка, вип. 187. – Харків, 2017. – С. 51–53.

8. Кандель А. Нечеткие множества, нечеткая алгебра, нечеткая статистика / А. Кандель, У. Дж. Байатт // ТИИЭР. – 1978. – Т 66. – № 12. – С.37–61.

9. А. с. 1026946 СССР, МКІ<sup>3</sup> В 22 D 17/32. Устройство управления машиной для литья под давлением / Кострица В. Г., Фурман И. А (СССР). – №3425477/22-02 ; заявл. 20.01.82 ; опубл. 07.07.83, Бюл. № 25.

10. Фурман И. А. Совершенствование математической модели и архитектуры логических управляющих автоматов параллельного действия / И. О. Фурман, С. Я. Бовчалоук // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2006. – №3 (59). – С. 72–76.

#### Аннотация

### КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТА ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ С НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКОЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ЯДРА SMART GRID

Бовчалоук С. Я., Тимчук С. А., Фурман И. А.

*В статье рассмотрены некоторые проблемы технического состояния энергетического сектора Украины и определены направления возможного их преодоления. Определены перспективы развития энергетики страны в общем мировом направлении интеллектуальной энергетики на базе концепции Smart Grid. Приведена попытка формирования концепции реализации функций логического управления в нечеткой форме на базе технологии параллельного логического управления, а также сформулирован общий подход к построению автоматов параллельного действия с нечеткой логикой.*

#### Abstract

### CONCEPT OF CONSTRUCTION OF PARALLEL ACTION AUTOMAT WITH FUZZY LOGIC FOR FORMING INTELLECTUAL CORE SMART GRID

S. Bovchaliuk, S. Tymchuk, I. Furman,

*In the article some problems of the technical state of the energy sector of Ukraine are considered and directions for their possible overcoming are determined. Prospects for the country's energy development in the global direction of intellectual power based on the concept of Smart Grid are determined. An attempt is made to formulate the concept of implementing logical control functions in odd form on the basis of parallel logic control technology, and a general approach to the construction of parallel action automat with fuzzy logic is formulated.*