

**В. В. ДЮРДІЙЧУК**, мол. наук. співр., ШПТ НАН України, Миколаїв;  
**С. С. КОЗИРЄВ**, канд. техн. наук, доцент, НУК, Миколаїв;  
**Л. Є. ОВЧИННИКОВА**, канд. техн. наук, доцент, ст. наук. співр., ШПТ  
НАН України, Миколаїв

## **АЛГОРИТМІЧНЕ ТА АПАРАТНО-ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОДЕЛЮВАННЯ АДАПТИВНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ РОЗРЯДНОІМПУЛЬСНИМИ ТЕХНОЛОГІЯМИ**

Розроблено апаратно-програмний інструментарій для моделювання та тестування адаптивних систем керування розрядноімпульсними технологіями з метою забезпечення надійності підтримки необхідних технологічних режимів в умовах стохастичності та невизначеності збурюючих впливів.

**Ключові слова:** розрядноімпульсні технології, адаптивна система керування, апаратні та програмні засоби, моделювання, тестування.

**Вступ.** У сучасному виробництві набувають широкого застосування розрядноімпульсні технології, в яких використовується високовольтний розряд у рідині. В каналі високовольтного розряду відбувається електровибухове перетворення енергії електричного поля в механічну енергію розширення каналу розряду, що дозволяє здійснювати концентрований, направлений вплив в заданих локальних об'ємах та поверхнях, з досягненням високих питомих енергетичних показників. Розрядноімпульсні технології застосовуються для отримання матеріалів з нетрадиційними властивостями та забезпечення високоефективних методів обробки матеріалів і виробів. Подальше розширення області застосування розрядноімпульсних технологій та підвищення їх продуктивності потребує синтезу адаптивних систем керування, що забезпечать необхідні режими обробки при змінних технологічних параметрах і невизначеності зовнішніх впливів.

**Аналіз попередніх досліджень.** Розрядноімпульсні технології як об'єкт керування відносяться до багатовимірних дискретно-неперервних нормальних стохастичних систем з вихідними координатами у вигляді випадкових функцій нестационарних по математичному сподіванню [1]. Це обумовлено властивостями електровибухового перетворення енергії, що застосовується як інструмент у даних технологіях.

Забезпечення керованості об'єктів такого класу у всьому просторі станів потребує введення механізмів адаптації для врахування нестационарності та стохастичності об'єкта. Механізм адаптації можна забезпечити, використовуючи системи керування на основі нечітких моделей [2]. Для реалізації син-

тезованих адаптивних законів керування розрядноімпульсними технологіями на основі нечітких моделей, які забезпечують керованість на всьому просторі станів з урахуванням нелінійності, стохастичності та невизначеності збуджуючих впливів, необхідне застосування мікропроцесорної обчислювальної системи з достатньою швидкістю, точністю і об'ємом оперативної та зовнішньої пам'яті.

При проектуванні та тестуванні потужних мікропроцесорних обчислювальних систем доцільно мати апаратно-програмний інструментарій для моделювання реальних режимів роботи системи керування, що дасть змогу прискорити розробку, знизити затрати на проектування та забезпечити надійність при експлуатації.

**Мета роботи** – розробка алгоритмічного та апаратно-програмного інструментарію для моделювання режимів роботи адаптивних систем керування на основі нечітких моделей, побудованих з використанням методів fuzzy-апроксимації.

**Матеріали досліджень.** В основу побудови апаратно-програмного комплексу моделювання режимів роботи адаптивної мікропроцесорної системи керування розрядноімпульсними технологіями покладено принцип модульності та уніфікації інтерфейсів. Цим вимогам відповідає багаторівнева ієрархічна структура. Мінімальна конфігурація системи – трьохрівнева. Вона включає локальний рівень, рівень функціональних підсистем та рівень диспетчерського керування.

При розробці архітектури проведено аналіз вимог до засобів і способів доступу до елементів системи, організації і розрядності інтерфейсів, організації і способів адресації пам'яті, обробки переривань.

Комплекс складається з підсистем різного призначення, в яких аналогові сигнали з датчиків нормуються, перетворюються у цифровий код, оброблюються відповідно до заданих моделей і алгоритмів та перетворюються до виду інформаційних координат. Ці функції виконують складні мікропроцесорні системи, у вигляді окремих модулів з уніфікованими інтерфейсами, що дозволяє використовувати шини даних (ШД/СШД) і шини адрес (ША/США) як загальний ресурс цифрової системи.

В якості основних керуючих компонентів підсистем усіх рівнів використані контролери фірми Atmel серії Mega (AtMega16, AtMega8535), оскільки вони забезпечують необхідну швидкість керування елементами системи та мають повний набір необхідних функцій.

При налагодженні, тестуванні та випробуванні окремих блоків цифрової системи керування комплекс забезпечує можливість їх роботи як в автономному режимі, оскільки всі блоки мають додаткові підсистеми індикації і панелі введення інформації, так і у складі системи, завдяки уніфікованому інтерфейсу SPI, який апаратно реалізовано у мікроконтролерах фірми Atmel. Структура шини SPI дозволяє гнучко змінювати конфігурацію системи при

проведенні експериментальних досліджень, наприклад, для визначення параметрів технологічних режимів.

З метою реалізації алгоритмів обробки даних, алгоритмів керування об'єктом та забезпечення сукупності специфічних протоколів взаємодії підсистем та системи в цілому з хост-комп'ютером диспетчерського рівня або іншими мікропроцесорними системами розроблено комплекс програмних засобів.

Структура комплексу програмного забезпечення (ПЗ) повторює ієрархічну структуру системи керування в цілому. За принципом приналежності до рівня системи керування комплекс ПЗ розділено на програмне забезпечення АРМ оператора, програмне забезпечення центральної функціональної процесорної системи та програмне забезпечення підпорядкованих локальних систем. Додатково, за функціональними ознаками, програмне забезпечення кожного рівня системи поділено на рівень команд, рівень транзакцій протоколу, рівень сигналів.

Рівень програмного забезпечення команд представлено набором чітко визначених операцій, специфічних для кожного рівня ієрархії системи. Він дозволяє реалізувати функціональну наповненість підсистем та системи вищого рівня без доступу до низькорівневих програмних функцій, що значно спрощує алгоритми роботи як однієї окремої підсистеми так і всієї системи в цілому. На базі рівня команд будується інтерфейс користувача і системи керування, систем вищого рівня та виконавчих локальних підсистем. Командна взаємодія між елементами системи відбувається завдяки рівню транзакції, через який відбувається обмін командами та даними в системі.

Рівень транзакцій присутній у кожному елементі всієї ієрархії системи, оскільки завдяки йому відбувається взаємозв'язок всіх пристроїв системи в єдиному цілому. Цей рівень відокремлюється від загального комплексу ПЗ завдяки наявності в системі низки специфічних протоколів передачі команд та даних, а отже і їх алгоритмів проміжної обробки та формування пакетів даних за правилами встановленими протоколом. Потік запитів від підсистем направлений за ієрархією зверху вниз, але основний потік даних про процес керування та стан системи - від локальних до центральних. Таким чином робота протоколів системи будується на базі запитів та команд, що надходять від верхніх рівнів, та масивів даних від нижніх рівнів, що надсилаються у відповідь на запити. Рівень транзакції має безпосередній доступ до системного ПЗ, що керує уніфікованими інтерфейсами системи, на базі яких відбувається обмін даними.

Системне ПЗ має доступ безпосередньо до апаратних ресурсів мікроконтролерів та мікропроцесорів підсистем та фактично є набором драйверів пристроїв підсистем всіх рівнів, тобто являє собою комплекс програмного забезпечення низького рівня. Основна задача, що покладена на системне ПЗ, формування послідовності сигналів керування згідно з командами, що надходять від ПЗ вищих рівнів та згідно з даними, отриманими за допомогою протоколів передачі. Сигнали керування сформовані системним ПЗ передаються безпосередньо на порти

вводу-виводу або на сигнальні лінії інтерфейсів системи.

ПЗ центральної мікропроцесорної системи (ЦМПС) забезпечує реалізацію алгоритму керування на базі даних, отриманих від підсистем виміру електродинамічних параметрів розряду, та керуючих даних, отриманих від оператора при керуванні в ручному режимі. При моделюванні автоматичного режиму роботи системи керування відбувається збір інформації про технологічний процес від підсистем локального рівня та її обробка відповідно до закладеної моделі об'єкта керування та алгоритму керування. Структура ПЗ ЦМПС додатково має підтримку елементів керування та виводу інформації для реалізації можливості роботи системи в автономному режимі. Оскільки центральна функціональна процесорна система є ланкою, що поєднує систему керування верхнього рівня (АРМ оператора) та підсистеми локального рівня, то її алгоритм включає велику кількість умовних операторів.

ПЗ ЦМПС реалізовано на базі мікроконтролера загального призначення з ядром ARM7 AT91SAM7X256, що має в своєму складі уніфіковані інтерфейси, які відповідають інтерфейсам диспетчерського рівня. ПЗ ЦМПС розроблено на алгоритмічній мові С, спеціалізованій для цього типу контролерів за допомогою компілятора WinARM (вільно розповсюджуваний). Були розроблені бібліотеки низькорівневого доступу до пристроїв мікроконтролера та бібліотеки протоколів обміну інформацією.

ПЗ диспетчерського рівня реалізовано на апаратній платформі Intel-сумісних ПК та програмній платформі Windows-XP. Розроблено алгоритми моніторингу і диспетчерського керування режимами роботи мікропроцесорних систем керування. Програмне забезпечення розроблено на мові високого рівня Delphi7 з використанням API-функцій Windows, багатопотоковості і DLL-бібліотек. Перелік функцій підсистеми диспетчерського рівня включає: зміну/введення початкових даних; вибір режимів роботи; завантаження даних до системи регулювання режиму розряду та запуск системи в роботу; моніторинг параметрів керування.

Створений апаратно-програмний інструментарій використовується для моделювання реальних режимів роботи та тестування мікропроцесорних систем керування розрядноімпульсними технологіями. Результати моделювання роботи мікропроцесорних систем керування режимами розрядноімпульсних технологічних процесів на основі використання розроблених алгоритмів і математичних моделей відображається в головному вікні АРМ оператора апаратно-програмний комплексу.

Розроблено бібліотеку алгоритмів роботи ПЗ мікропроцесорних систем керування різними розрядноімпульсними технологіями, такими як очищення виливків, обробка металів тиском, руйнування та подрібнення негабаритів, інтенсифікація кристалізації металів та ін.

Приклад алгоритму роботи ПЗ центральної мікропроцесорної системи керування розрядноімпульсною технологією очищення виливків наведено на рис. 1.

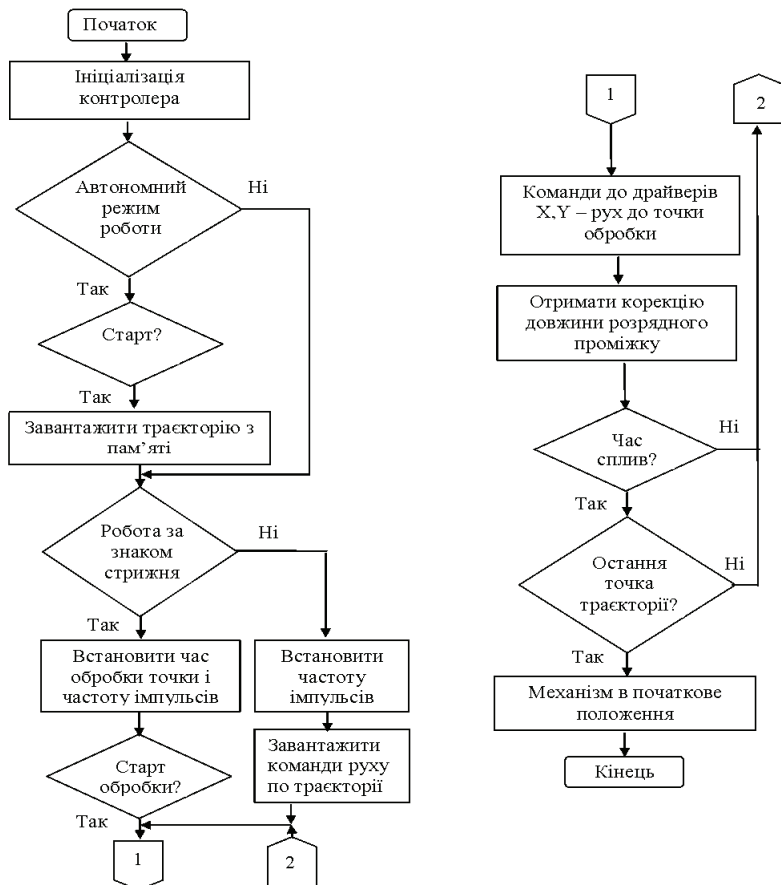


Рисунок 1 – Алгоритм роботи ПЗ центральної мікропроцесорної системи керування розрядноімпульсною технології очищення виливків

Результати моделювання роботи мікропроцесорної системи керування режимом розрядноімпульсного очищення виливків на основі наведеного алгоритму, що відображається в головному вікні АРМ оператора апаратно-програмний комплекс, наведено на рис. 2.

Результати моделювання підтверджують адекватність роботи системи, так при зміні інформаційної координати (верхня залежність на рис. 2) система реагує зміною та стабілізацією вихідної координати (нижня залежність, ломана крива) на рівні величини оптимального розрядного проміжку (нижня залежність, пряма лінія) з точністю, що не перевищує зону нечутливості трипозиційного регулятора.

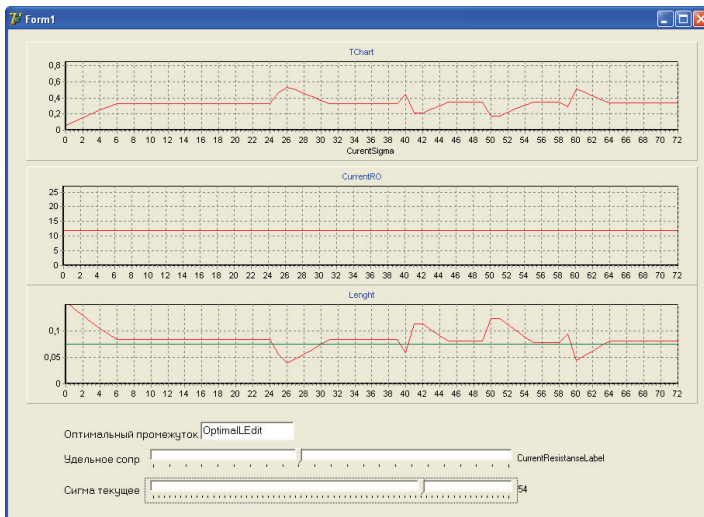


Рисунок 2 – Результати моделювання роботи мікропроцесорної системи керування

**Висновки.** На основі побудованих математичних моделей, розроблених програмних засобів та проектних рішень створено алгоритмічне та апаратно-програмне забезпечення моделювання режимів роботи мікропроцесорних систем керування розрядноімпульсними технологіями. Проведені дослідження мікропроцесорних систем керування підтвердили адекватність створених моделей та програмних алгоритмів. Використання комплексу при проектуванні та тестуванні систем керування забезпечить надійність роботи при експлуатації.

**Список літератури:** 1. Вовк И. Т. Управление электрогидроимпульсными процессами / И. Т. Вовк, В. Б. Друмирецкий, Е. В. Кривицкий, Л. Е. Овчинникова. – К.: Наукова думка, 1984. – 186 с. 2. Козырев С. С. Адаптивная система управления электроимпульсной установкой с использованием нечеткого регулятора / С. С. Козырев // Вестник НТУ «ХПИ». – 2006. – № 37. – С. 92-100.

**Bibliography (transliterated):** 1. Vovk I. T. Upravlenie elektrogidroimpul'snyimi protsessami I. T. Vovk, V. B. Drumiretskiy, E. V. Krivitskiy, L. E. Ovchinnikova. – K.: Naukova dumka, 1984. – 186. 2. Kozyrev S. S. Adaptivnaya sistema upravleniya elektroimpul'snoy ustanovkoy s ispol'zovaniem nechetkogo regul'yatora S. S. Kozyrev Vestnik NTU «HPI». – 2006. – № 37. – 92-100.

*Надійшла (received) 18.03.2014*

УДК 681.51: 537.528

**Алгоритмічне та програмно-апаратне забезпечення моделювання адаптивних систем керування розрядноімпульсними технологіями / В. В. Дюрдійчук, С. С. Козирєв, Л. Є. Овчиннікова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – № 21 (1064). – С. 17-22. – Бібліогр.: 2 назв. – ISSN 2079-0740.**

Розроблено програмно-апаратний інструментарій для моделювання та тестування адаптивних систем керування розрядноімпульсними технологіями з метою забезпечення надійності

підтримки необхідних технологічних режимів в умовах стохастичності та невизначеності збуджуючих впливів.

**Ключові слова:** розрядноімпульсні технології, адаптивна система керування, апаратні та програмні засоби, моделювання, тестування.

УДК 681.51: 537.528

**Алгоритмическое и аппаратно-програмное обеспечение моделирования адаптивных систем управления разрядноимпульсными технологиями / В. В. Диордийчук, С. С. Козырев, Л. Е. Овчинникова** // Вісник НТУ «ХП». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХП», 2014. – № 21 (1064). – С. 17-22. – Бібліогр.: 2 назв. – ISSN 2079-0740.

Разработан аппаратно-программный инструментарий для моделирования и тестирования адаптивных систем управления разрядноимпульсными технологиями с целью обеспечения надежности поддержания необходимых технологических режимов в условиях стохастичности и неопределенности возмущающих воздействий.

**Ключевые слова:** разрядноимпульсные технологии, адаптивная система управления, аппаратные и программные средства, моделирование, тестирование.

**Algorithms and hardware-software solution for simulation of adaptive control systems for discharge-pulse technologies / V. V. Diordiychuk, S. S. Kozyrev, L. E. Ovchinnikova** // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Technique and electrophysics of high voltage. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2014. – № 21 (1064). – P. 17-22. – Bibliogr.: 2. – ISSN 2079-0740.

Hardware-software solution was developed for simulation and testing of adaptive control systems for discharge-pulse technologies. This solution provides reliable support of required technological process parameters under variable conditions.

**Keywords:** discharge-pulse technologies, adaptive control system, hardware-software systems, simulation, testing.