

DOI: 10.31319/2519-2884.40.2022.16

УДК 681.51

В.В. Багрій, к.т.н., доцент, vvbagry@ukr.net

Р.В. Волошин, старший викладач, volosinruslan4276@gmail.com

К.Р. Волошина, студентка, voloshina.k25.06@gmail.com

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

НЕЧІТКИЙ РЕГУЛЯТОР СИСТЕМИ ПОДАЧІ ПРУТКА СТАНУ ПОПЕРЕЧНО-КЛИНОВОЇ ПРОКАТКИ НА БАЗІ ARDUINO В СЕРЕДОВИЩІ LABVIEW

Основна мета наукової роботи — це розробка регулятора на основі нечіткої логіки для електронної системи управління подачею пруткової заготовки в автоматизованих комплексах поперечно-клинової прокатки. Попереочно-клинова прокатка належить до прогресивних енергозберігаючих технологій, де технологічні процеси, засновані на різанні металу, замінюються економічними процесами пластичного формоутворення деталей. Проведений аналіз показав, що підвищення коефіцієнта використання металу вимагає зниження втрат, що виникають за рахунок неточності подачі пруткової заготовки на довжину деталі. Задача зводиться до відтворення заданого закону руху виконавчого механізму, тобто до забезпечення максимальної швидкості, плавного розгону та гальмування з можливістю безударної зупинки в кінці ходу. Вирішення поставленої задачі пропонується здійснити вводом в структуру системи управління подачею блока нечіткого регулювання.

Ключові слова: нечітка логіка, функція приналежності, дефазифікація, графічна мова програмування, Arduino, мікроконтролер, LabVIEW, поперечно-клинова прокатка.

The main purpose of scientific work is to develop a regulator based on fuzzy logic for an electronic control system for the supply of bar billets in automated cross-wedge rolling complexes. Cross-wedge rolling belongs to the advanced energy-saving technologies where technological processes based on metal cutting are replaced by economic processes of plastic forming of details. The analysis showed that coefficient increase of metal utilization requires loss decrease arising from the supply inaccuracy of the bar workpiece to the length of the part. The task is to reproduce the given law of motion of the actuator, i.e. to ensure maximum speed, smooth acceleration and braking with the possibility of a shockless stop at the end of the stroke. The solution of this problem is proposed to be carried out by entering the fuzzy control unit into the structure of the system for controlling the supply.

The hardware basis of the control system in this work is the Arduino hardware and software complex based on the Atmel AVR microcontroller. The software model of the control system is developed in the graphical programming environment LabVIEW, which is widely used as a standard tool for data collection and control of devices in industry, education and research laboratories. The construction of a fuzzy regulator and its implementation are considered using Fuzzy Logic Designer.

Keywords: fuzzy logic, membership function, defasification, graphic programming language, Arduino, microcontroller, LabVIEW, cross-wedge rolling.

Постановка проблеми

Зростаюча складність сучасного технологічного обладнання, процесів і систем викликає потребу в підвищенні ефективності управління, що робить цю проблему актуальною для сьогодення. Одним із провідних напрямів вирішення цієї задачі є використання інтелектуальних систем управління. Перспективний напрям інтелектуальної технології створення сучасних високоякісних систем управління спирається на застосування нечіткого управління, побудованого на основі нечіткої логіки.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Поняття нечітка логіка вперше введене американським математиком Лотфі Заде (L.A. Zadeh, 1965), який запропонував теорію нечітких множин, що лежить в основі теорії нечіткої логіки [1]. Предметом нечіткої логіки є побудова моделей наближених до процесу мислення людини. Перша система управління технічним пристроєм на базі нечіткої логіки була розроб-

лена британським вченим Е. Мамдані (Mamdani, 1975) для управління парогенератором [2]. Однак практичне використання цього підходу по відношенню до систем управління стримувалось із-за низької продуктивності мікро-ЕОМ того часу. У зв'язку із темпами сучасного розвитку мікропроцесорної техніки, зростанню її продуктивності та обчислювальних можливостей, значно поновлюються дослідження в області нечіткої логіки та усе більше на її основі знаходять застосування засоби управління різноманітними технічними об'єктами. Активний розвиток цього методу почався в Японії, США і Європі [3—5]. Системи, засновані на основі нечіткої логіки, успішно впроваджуються в таких областях, як управління технологічними процесами, управління транспортом, медична та технічна діагностика, побутова техніка, розпізнавання образів. Нечітке управління особливо доцільно використовувати, коли технологічні процеси занадто складні і для них відсутній або є неприйнятно складним математичний опис. Цей підхід застосовується в умовах неповного знання про правила поведінки системи, випадках неясного зв'язку між параметрами, недостовірності початкових даних та коли поведінка системи і необхідна поведінка об'єкту описуються приблизно. Однак, нечітка логіка може бути ефективною і для вирішення проблем, де немає необхідності аналізувати об'єкт керування з високим ступенем деталізації. Такі моделі хоча і є наближеними, але можуть бути досить швидко та легко отримані. Набутий практичний досвід впровадження регуляторів, побудованих на базі нечіткої логіки, свідчить, що вони здатні забезпечити вищі показники якості перехідних процесів, ніж класичні. При цьому терміни їх проектування і вартість значно менші в порівнянні із використанням традиційного математичного апарату. Зважаючи на це, нечітка логіка стала однією з найбільш успішних технологій для розробки складних систем управління [6, 7].

Формулювання мети дослідження

Мета наукової роботи — це розробка регулятора на основі нечіткої логіки для електронної системи управління подачею прутка в комплексах поперечно-клинової прокатки (ПКП).

Виклад основного матеріалу

Технологічний процес ПКП заснований на пластичному формоутворенні деталей, що робить його застосування більш економічно доцільним в порівнянні із технологічними процесами, заснованими на різанні металу. Таким чином, ПКП можна цілком віднести до прогресивних технологій, які направлені на вирішення задач підвищення енергозбереження.

Розроблені автоматизовані комплекси ПКП забезпечують контрольоване та погоджене виконання усіх технологічних операцій: правку вихідного матеріалу з бунту дроту, порізу на мірні прутки та транспортування їх до механізму подачі, подачі частки прутка необхідної довжини до валкового інструменту, формоутворення готової деталі в валковому інструменті [8].

За такої технології виготовляють всілякі штифти, осі, ступінчасті вали та ін. Довжина освоєної номенклатури деталей знаходиться в діапазоні від 10 мм до 150 мм. Вихідним матеріалом для формоутворення є конструкційні сталі, кольорові і жаростійкі сплави, що надаються прутковою заготовкою мірної довжини 2—3 м та діаметром 1.5—6.0 мм. В розробленому комплексі ПКП, процес формоутворення деталей відбувається за двохвалковою схемою. Робочі валки обертаються назустріч один одному та мають характерні ділянки на своїй поверхні. Особливості цих ділянок визначаються наявністю формоутворюючих клинів, відрізних ножів, занижень поверхні і т.і., що необхідно для формоутворення деталі. При суміщенні ділянок завантаження обох валків на осі дії механізму подачі відбувається подача частки пруткової заготовки визначеної довжини поперек інструменту. Формоутворюючі клини вриваються в пруток та визивають його обертання по поверхні валкового інструменту. В результаті взаємодії між прутком та валковим інструментом відбувається процес формоутворення деталі внаслідок пластичної деформації. Сформована деталь відокремлюється від прутка спеціальними ножами і потрапляє на ділянку завантаження. При цьому спрацьовує механізм подачі і подається нова частка прутка, що виштовхує сформовану деталь, і цикл повторюється. Технологія ПКП по відношенню до аналогічних технологій буде мати високу конкурентну спроможність в разі підвищення коефіцієнту використання вихідного матеріалу та продуктивності [9]. Продуктивність комплексу ПКП складає в середньому 1 дет./с. при коефіцієнті використання металу 0.88—0.91.

Дослідження, проведені на комплексах ПКП, виявили залежність коефіцієнту використання металу від величини відрізної обрізи при прокатці деталі. Відрізи відходи виникають

внаслідок неточності подачі прутка для формування деталі заданої довжини і віддаляються ножами валкового інструменту, як обріз. Довжина подачі регулюється системою подачі прутка і визначається ходом виконавчого механізму. Встановлено, що помилка виникає внаслідок прослизання прутка відносно цанги, що утримує його при подачі [10]. Прослизання виникає, якщо значення кінетичної енергії, яку набуває прутко при подачі в кінцевій точці позиціонування, перевищує силу його зчеплення із цангою. В процесі прокатки зменшується довжина пруткової заготовки, а відповідно і її маса, що призводить до зменшення помилки при подачі.

Вирішення задачі підвищення точності подачі потребує реалізації такого закону руху виконавчого механізму, при якому відбувається плавне прискорення до максимально можливої швидкості та гальмування із безударною зупинкою в кінцевій точці позиціонування. В якості виконавчого механізму використовується двосторонній пневмоциліндр, що синхронно з обертанням валків виконує подачу прутка. По сигналу із системи керування пневмоциліндр здійснює поступальний рух в напрямку валкового інструменту для подачі прутка на ділянці завантаження та в зворотному напрямку підготовляючи нову порцію матеріалу. Довжина ходу виконавчого механізму дорівнює довжині деталі. Режим гальмування реалізується перекриттям порожнини пневмоциліндру в напрямку подачі із визначеним початковим тиском повітря. В процесі просування поршня відбувається зменшення об'єму цієї порожнини, що призводить до зростання сили гальмування. По своїй суті ця дія має властивості аналогічні звичайній пружині. Режим руху виконавчого механізму із плавною зупинкою в кінцевій точці потребує визначення необхідної жорсткості пневматичної пружини при завантаженні прутка на кожну деталь. Таким чином, виникає задача узгодження початкового тиску повітря в порожнині циліндру із довжиною деталі та поточною масою прутка, що зменшується в процесі його вироблення.

Вирішення поставленої задачі здійснюється вводом в систему управління комплексом ПКП блока нечіткого регулятора [11]. Дослідження алгоритму нечіткого виводу для даної задачі проводилось із використанням системи нечіткого виводу з адаптивними можливостями ANFIS середовища MATLAB [12]. ANFIS можна розглядати як нейронну мережу прямого поширення з декількома входами і одним виходом та із можливістю навчання. На основі експериментальних даних здійснено навчання та налаштування параметрів мережі для отримання нечіткого виводу. Терми вихідної змінної представляються лінійною або постійною функцією приналежності, яка мінімізує відхилення між вибіркою даних та результатами нечіткого моделювання. Отримана нейро-нечітка мережа є системою нечіткого логічного висновку типу Сугено. Апаратною основою системи управління в даній роботі вибрано апаратно-програмний комплекс Arduino на базі мікроконтролера Atmel AVR з усім необхідним елементним об'язуванням для програмування та інтеграції з іншими схемами [13]. Комплекс надає інструменти, необхідні для створення різних інженерних проектів. Arduino програмується через вбудоване середовище розробки (IDE), що використовує мову програмування, схожу з C++ та запускається на будь-якій платформі, яка підтримується Java [14].

Комплекс Arduino набув широкого поширення завдяки доступності, відкритій ліцензії на архітектуру і програмний код, відкритості та простоті програмування, великому набору додаткових плат розширення та низькій вартості порівняно з аналогічними платами [15, 16]. Сучасні засоби розробки програмного забезпечення, як правило, мають у своєму складі компоненти, призначені для вирішення поставлених задач. Реалізацію регулятора та системи керування на базі нечіткої логіки виконано в середовищі LabVIEW компанії National Instruments (США). LabVIEW — потужне багатоплатформене програмне середовище графічного програмування. В останні роки воно набуло широкого використання в освіті, науково-дослідних лабораторіях та промисловості, як стандартний інструмент збору даних та управління приладами [17, 18].

Система LabVIEW заснована на принципах об'єктно-орієнтованого програмування і є проблемно-орієнтованою. Вона підтримує програмування дій, які специфічні для АСУТП і АСУВ та реалізує концепцію віртуальних приладів (ВП). Графічна оболонка LabVIEW має суттєві відмінності від традиційних мов програмування [19, 20]. Незважаючи на доступність і легкість у використанні, вона надає повний набір інструментів необхідних для збору інформації, її аналізу та представлення результатів в доступному вигляді. В наслідок цих переваг, LabVIEW орієнтована на створення додатків в області автоматизації наукових досліджень, управління виробництвом та промисловими установками і тому подібне. До основних функцій програмно-

го продукту LabVIEW належать і засоби розробки програмного забезпечення для моніторингу і управління процесами із використанням нечіткої логіки, що значно полегшує рішення поставленої задачі. Управління процесами може здійснюватися через спеціально програмований логічний контролер або напряму із комп'ютера. В даному випадку в якості контролера використовується платформа Arduino, яка може бути як автономною, так і взаємодіяти з програмним забезпеченням LabVIEW, що працює на персональному комп'ютері.

Середовище розробки віртуальних приладів LabVIEW прискорює процес розробки систем управління на базі промислових комп'ютерів, ПЛІС і промислових контролерів завдяки графічному способу програмування. Розробник може сфокусувати свою увагу на розробці алгоритму системи управління, а не на складному низькорівневому програмуванні. LabVIEW підтримує спільну роботу з Arduino по USB каналу в режимі RS-232 послідовного з'єднання. Ця взаємодія заснована на виконанні серверної програми контролера, який приймає команди через послідовний порт, виконує їх і, при необхідності, повертає результат. Контролер, в цьому випадку виступає, як зовнішній пристрій введення-виведення інформації, а LabVIEW як інструмент для взаємодії з реальними об'єктами систем управління. Взаємодія програмного середовища LabVIEW з приладами підтримується пакетом програмних драйверів інтерфейсу VISA. VISA це стандартизований програмний інтерфейс високого рівня (API), призначений для комунікацій через інструментальні шини. В пакеті драйверів VISA знаходяться набори програмних інструментів, які дозволяють організувати в середовищі LabVIEW взаємодію та управління приладами із різними комунікаційними інтерфейсами (USB, IEEE-488, VXI, RS-232 та ін.) [21]. Для спільної взаємодії Arduino і LabVIEW через інтерфейс USB в роботі використовується бібліотека LINX від Digilent, призначена для спрощення та полегшення розробки вбудованих додатків [22]. Бібліотека додає в стандартний інтерфейс LabVIEW пункт меню для роботи з Arduino. Цей інструмент дозволяє вибрати модель плати Arduino, порт зв'язку між комп'ютером і цією платою, тип підключення та інші параметри послідовного зв'язку, такі як швидкість передачі, кількість байтів на пакет, стопові біти. LINX надає мікропрограмне забезпечення, яке діє як механізм введення-виведення і за допомогою цього інструментарію та програмного забезпечення LabVIEW можна контролювати або отримувати дані з вбудованих платформ. Коли інформація знаходиться в LabVIEW її можна аналізувати за допомогою вбудованих бібліотек LabVIEW, розробляти алгоритми для управління підтримуваним обладнанням та представляти результати у владженному призначеному для користувача інтерфейсі.

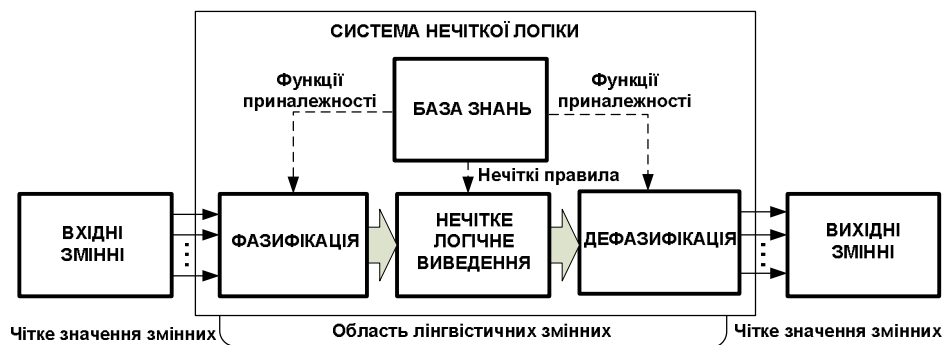


Рис. 1. Формування вихідного сигналу нечіткого регулятора

Мета управління в більшості випадків, в тому числі і на основі нечіткої логіки, полягає у визначенні значення змінних управління на основі аналізу поточного стану об'єкту управління та їх реалізації, що дозволить забезпечити бажаний стан об'єкту управління або його поведінку. Процедура обробки вхідної інформації в нечіткому регуляторі можна сформулювати із виконанням наступних кроків (рис. 1):

1. Фазифікація — етап введення нечіткості. Для всіх вхідних змінних визначаються конкретні значення функцій приналежності по кожному з лінгвістичних термів. Кількість термів задає необхідну точність опису процесу.

2. Нечітке логічне виведення — на підставі набутих лінгвістичних значень і з використанням бази правил контролера виробляється нечіткий логічний висновок, в результаті якого обчислюються лінгвістичні значення вихідних змінних;

3. Дефазифікація — переводить лінгвістичний результат знову в реальну величину, що представляє поточну величину змінної управління. В результаті переходу від нечітких значень величин до певних фізичних параметрів, їх можна використовувати як команди для виконавчого пристрою.

Конфігурація управління залежить від кількості контрольованих виходів та керованих вхідних даних, які ми отримуємо в процесі управління. За цими ознаками розрізняють наступні інформаційні структури управління:

- SISO — один вхід та один вихід;
- MIMO — декілька входів і виходів;
- MISO — декілька входів та один вихід;
- SIMO — одним вхід і декілька виходів.

В даному випадку застосовано інформаційну структуру MISO. Побудову нечіткого регулятора та його реалізацію в роботі розглянуто з використанням Fuzzy Logic Designer середовища LabVIEW [21]. Для створення і налаштування нечіткого регулятора в меню "Tools" вибираємо "Control Design and Simulation" і запускаємо "Fuzzy System Designer". У діалоговому вікні, що відкрилося, у вкладці "Variables" створюємо лінгвістичні змінні і привласнюємо їм відповідні функції приналежності.

У даній роботі використовуються дві нечіткі функції приналежності для двох входів «довжина деталі» та «поточна маса пруткової заготовки». Лінгвістичні змінні зазвичай мають непарну кількість лінгвістичних термів, де є середній лінгвістичний терм і симетричні лінгвістичні терми на кожному краю. Для фазифікації використані трикутні функції, які зростають у міру наближення до заданої величини та зменшуються при видаленні від неї. Визначені терми для першої змінної «довжина деталі»: коротка; середня; довга. Для другої змінної «поточна маса пруткової заготовки» визначені терми: легка; середня; тяжка. Вибрані варіанти трикутних функцій приведено на рис. 2.

Надалі у вкладці "Rules" задаємо базу нечітких правил. Основним виконуючим блоком системи є блок бази правил, який еквівалентний до вибраної стратегії управління контролера. За його допомогою описуються відносини вихідного сигналу до вхідних сигналів. В редакторі правил в залежності від вхідних сигналів обирається відповідна функція керування. База правил повинна охоплювати взаємні стосунки усіх терм для усіх вхідних змінних та описувати реакцію системи на ті або інші умови. Для вирішуваної задачі база правил склала 9 правил, наступного виду (рис. 3):

ЯКЩО "input1 $\in a_i$ " І "input2 $\in b_j$ " ТО "output $\in c$ ",

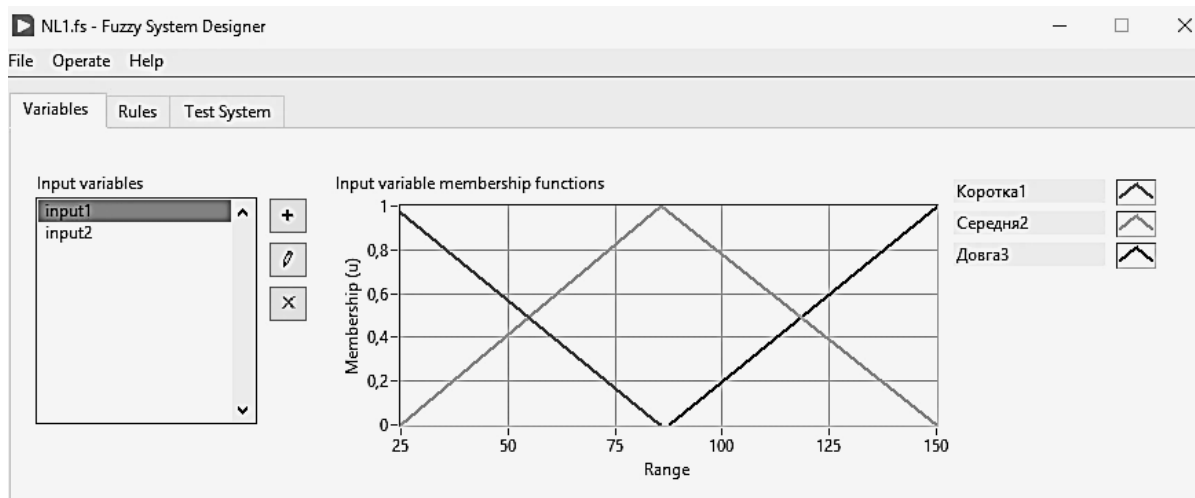
де a і b — терми вхідних змінних, i і j — індекси відповідних термів, c — деяке дійсне число.

Виходячи з використовуваного, в даній задачі, методу дефазифікації, вихідна змінна набуває чіткого значення.

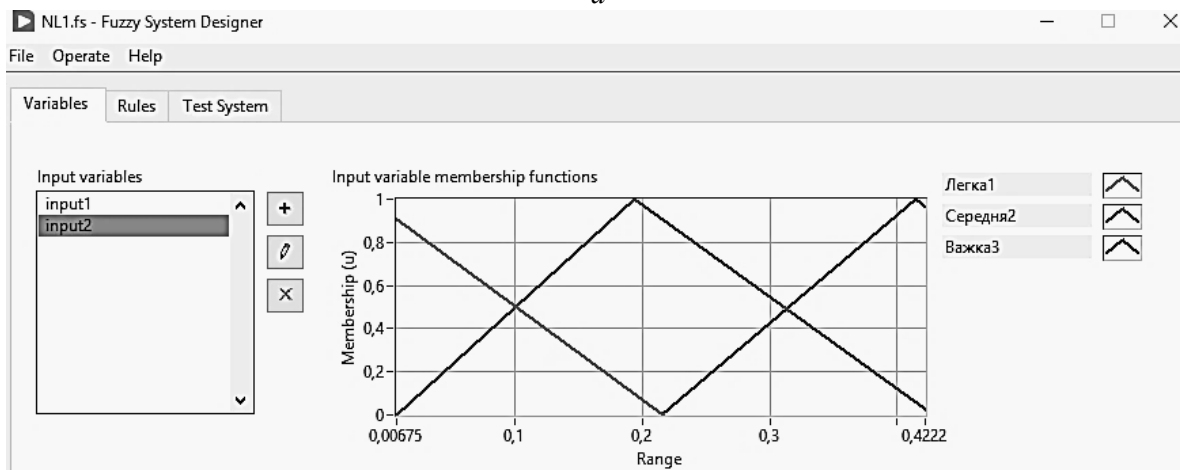
По завершенні створення бази правил та змінних є можливість перевірки і тестування алгоритму управління закладеного в нечіткий регулятор. Для цього використовуємо вкладку "Test System". Система тестування перевіряє взаємозв'язок між вхідними і вихідними значеннями нечіткої системи для перевірки бази правил. Для цього, вручну вводяться значення вхідних змінних і на основі цього здійснюється вибір значення виходу. Тест система відображає задіяні правила та відповідні співвідношення вхід/вихід (рис. 4).

Програмне забезпечення системи в середовищі LabVIEW зводиться до створення та налаштування двох нероздільно взаємозв'язаних частин: лицьової панелі і блок-схеми ВП. Лицьова панель, є інтерактивним інтерфейсом користувача, тобто містить засоби:

- введення з екрану монітора початкових даних;
- управління програмою в ході її виконання;
- виведення інформації на цифрові і графічні індикатори.



a



б

Рис. 2. Визначені функції приналежності для вхідних змінних: *a* — довжина деталі; *б* — вага прутка

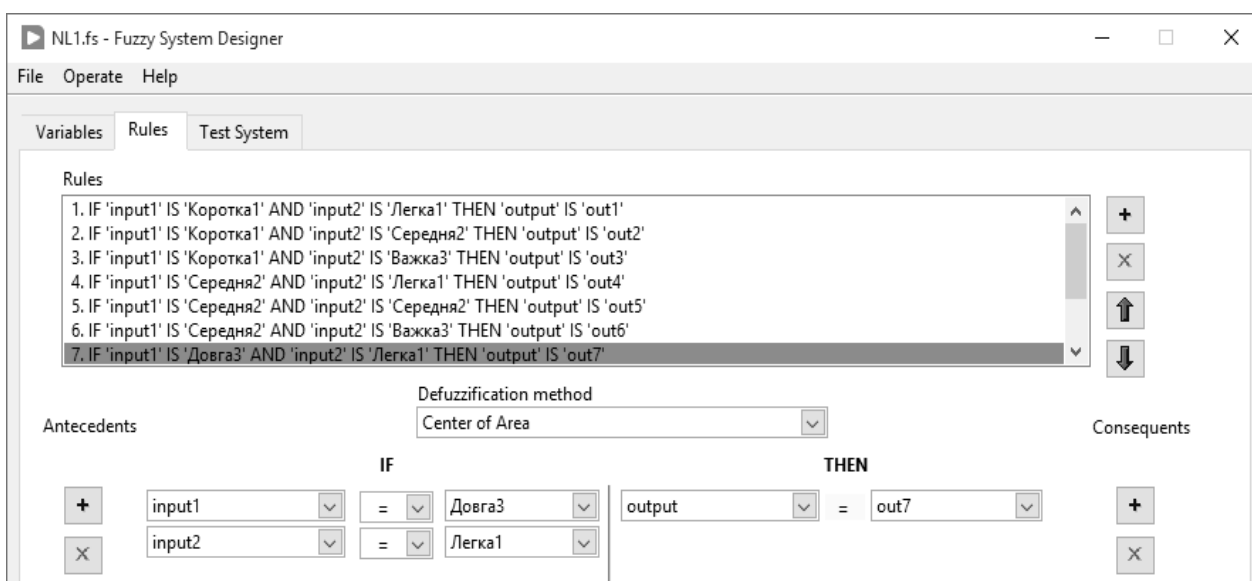


Рис. 3. Формування вихідного сигналу нечіткого регулятора

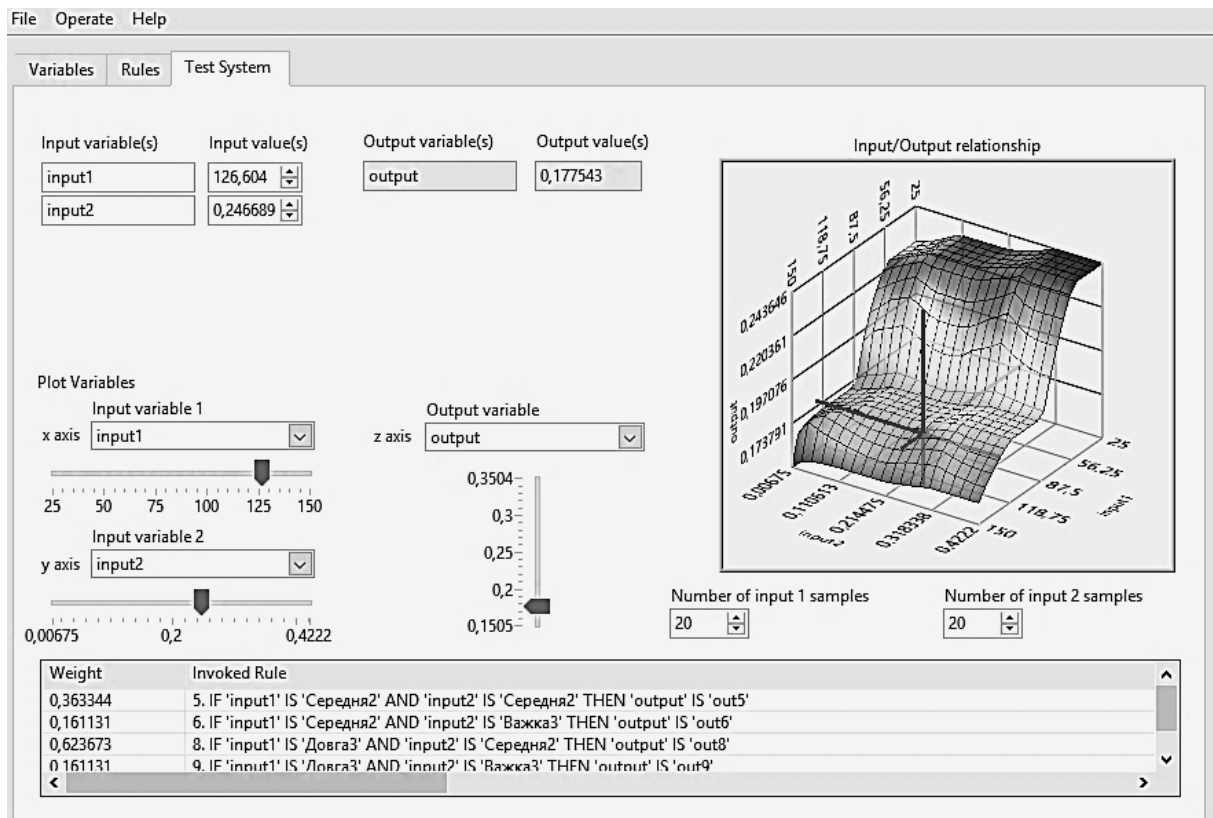


Рис. 4. Тестування алгоритму управління закладеного в нечіткий регулятор

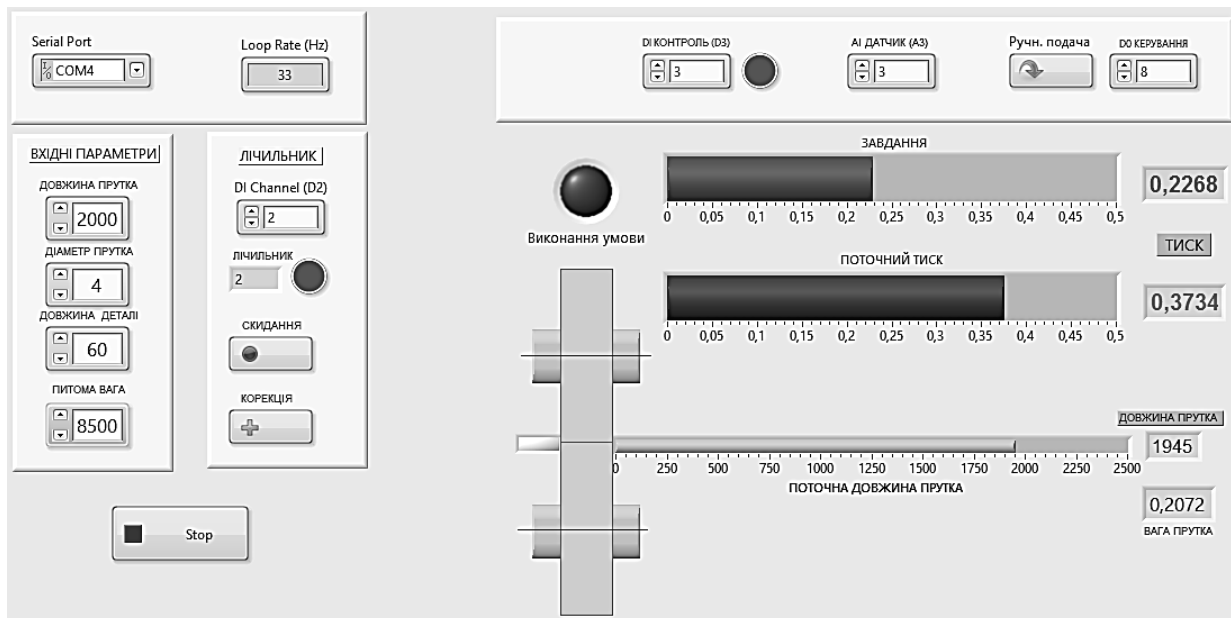


Рис. 5. Лицьова панель нечіткого регулятора

Розроблена лицьова панель показана на рис. 5. На ній розташовані елементи управління програмою, що дозволяють за допомогою використання миші та клавіатури ввести дані деталі та пруткової заготовки, вибрати виводи дискретного та аналогового введення/виведення мікроконтролера, задіяні в програмі, налаштувати послідовний канал обміну інформацією між

комп'ютером і Arduino. На індикаторах панелі відображається інформація поточної довжини та ваги пруткової заготовки, результати підрахунку кількості прокатаних деталей, значення величини тиску повітря в пневмоциліндрі та його визначене значення для забезпечення у руху виконавчого механізму відповідно до заданого закону згідно прийнятій стратегії управління.

Блок-схема по своїй суті є програмою, яка в графічній формі ілюструє алгоритм дій майбутнього віртуального приладу. Створення цієї частини здійснюється за допомогою мови G, де усі команди, оператори циклів і порівняння зображуються у вигляді окремих графічних піктограм. Об'єкти, розміщені на лицьовій панелі, з'являються на блок-діаграмі у вигляді терміналів. Усі елементи програми пов'язані між собою зв'язками, по яких відбувається передача даних. Таким чином, в процесі розробки початкового коду віртуального інструменту використовується поняття "потік даних" (DataFlow). Такий підхід в LabVIEW дозволяє створювати програми будь-якої спрямованості і складності, де можна вести виміри, аналізувати сигнали і управляти виконавчими механізмами в режимі реального часу. На рис. 6 наведений приклад розробленого вікна блок-схеми моделювання системи з нечітким регулятором.

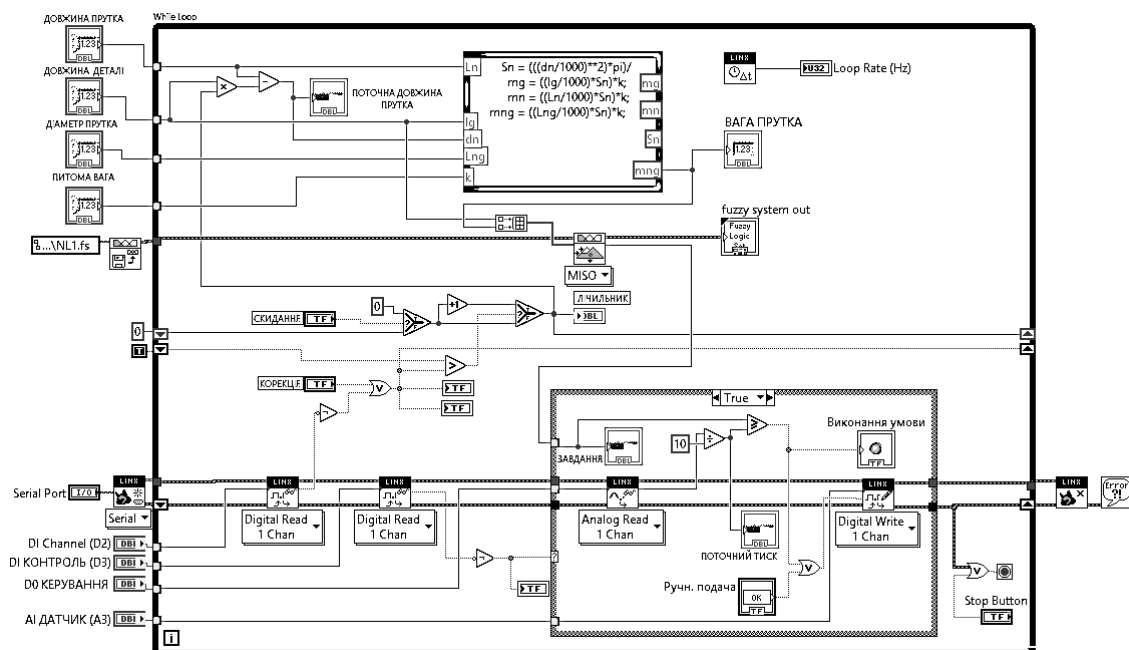


Рис. 6. Блок-схема нечіткого регулятора

Розроблений регулятор на основі нечіткої логіки взаємодіє із електронною системою управління станом поперечно-клинової прокатки. Метою розробленої моделі системи управління із використанням нечіткого регулятора (контролера) є підвищення точності подачі пруткової заготовки на задану довжину за рахунок відтворення обумовленого закону руху виконавчого механізму.

Функціонування регулятора на основі нечіткої логіки відбувається за наступним алгоритмом. Перед початком прокатки нової партії деталей, оператор вводить вхідні параметри: довжину деталі, діаметр та початкову довжину пруткової заготовки, матеріал заготовки. По заданим даним обчислюється поточна вага пруткової заготовки. В процесі прокатки по сигналу спрацювання датчика подачі прутка ДПП підраховується кількість прокатаних деталей та із врахуванням цього автоматично виконується корекція поточної довжини пруткової заготовки та її ваги. Подача частини пруткової заготовки на задану довжину здійснюється за допомогою двостороннього пневмоцилиндру, порожнини якого по чергово підключаються до мережі стислого повітря. Шток поршня зв'язаний механічно із цангою, де затиснута пруткова заготовка. Поршень здійснює переміщення від упору до упору на величину довжини деталі і в результаті відбувається завантаження валкового інструменту та наступна прокатка. Структурна схема регулятора показана на рис. 7.

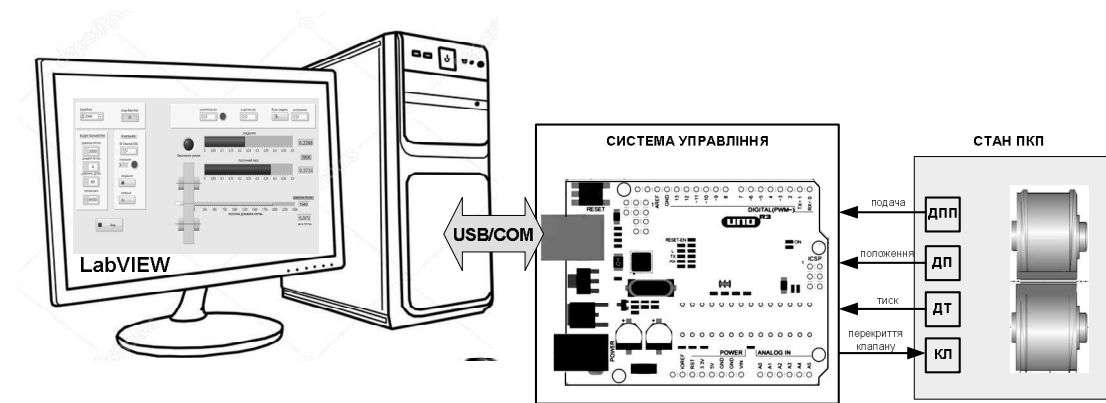


Рис. 7. Структура контролера нечіткої логіки

Для підготовки до наступної подачі поршень повертається в початкове положення, віддалене від валкового інструменту, що фіксується датчиком положення ДП. По сигналу цього датчика активується контроль тиску повітря в порожнині циліндра, що визвало це переміщення. В момент фіксації початкового положення спрацьовує випускний пневмоклапан КЛ і в цій порожнині починається скидання тиску повітря до атмосферного. В той же час, по сигналу датчика положення, активується блок нечіткого регулятора. В залежності від поточних вхідних сигналів та вибраних терм в базі правил вибирається відповідна функція керування, що зводиться до завдання тиску підпору, необхідного для утворення сили гальмування в процесі просування поршня в момент подачі. Поточний тиск повітря в порожнині циліндра, що контролюється датчиком тиску ДТ, порівнюється із заданим значенням. При виконанні умови рівності між ними формується сигнал на перекриття випускного пневмоклапану КЛ. Таким чином, в цій порожнині в процесі просування поршня при подачі буде створюватись повітряна подушка, що забезпечить гальмівну силу, необхідну для зменшення кінетичної енергії в кінцевій точці позиціонування, а отже і помилки точності подачі.

Висновки

У роботі обґрунтовані структура та програмна реалізація комп'ютерної системи управління основними технологічними режимами стану ПКП. Для цієї системи виділені лінгвістичні вхідні і вихідні змінні, а також вибрані функції приналежності та сформульована нечітка продуктивна модель знань. Метою розробленої моделі системи управління на основі нечіткого регулятора (контролера) є завдання значення на виході регулятора, що забезпечує підтримку потрібного закону руху виконавчого приводу механізму подачі пруткової заготовки, а саме, забезпечує максимальну швидкість, плавний розгін та гальмування з можливістю безударної зупинки в кінці ходу. Результати експериментальних досліджень підтвердили адекватність використаної моделі та розробленого набору правил роботи нечіткого регулятора. Випробування системи управління на деталях різної довжини підтвердили зменшення сумарних втрат та підвищення коефіцієнту використання вихідного матеріалу до 0,95—0,98. На підставі цього, можна зробити висновок, що синтез системи управління на базі нечіткого регулятора виконаний вірно. Проте, подальше підвищення коефіцієнту використання металу потребує підвищення точності регулятора, наприклад, за рахунок збільшення термів вхідної змінної «довжина деталі» та виду функцій приналежності. Таким чином, синтезовану систему слід розглядати як перше наближення до оптимального варіанту, що забезпечить динамічну точність регулювання та низьку чутливість до зовнішніх дій.

Список використаної літератури

1. Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений: М.: Мир, 1976. 165 с.
2. Mamdani E.H., Assilian S. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logiccontroller: *Int. J. Man-Mach.* 1975. Vol. 7, №1. P.1–13.

3. Тэрано Т., Асаи К., Сугено М., Прикладные нечеткие системы: М.: Мир, 1993. 368 с.
4. Кофман А., ХилАлуха А. Введение в теорию нечётких множеств в управлении предприятиями: Минск: Высшая школа, 2012. 222 с.
5. Гостев В.И. Проектирование нечетких регуляторов для систем автоматического управления: СПб. БХВ-Петербург, 2011. 416 с.
6. Деменков Н.П. Нечеткое управление в технических системах: М.: Изд-во МВТУ им. Баумана, 2005. 200 с.
7. Кирик В.В. Математичний апарат штучного інтелекту в електроенергетичних системах: підручник, Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019. 224 с.
8. Багрій В.В., Волошин Р.В., Чабан В.А. Автоматичне управління комплексом поперечно-клинової прокатки програмованим логічним контролером на базі апаратно-програмної платформи Arduino. *Збірник наукових праць Дніпродзержинською державного технічного університету (технічні науки)* Кам'янське. 2019. Випуск 2 (35). С. 165–169.
9. Багрій В.В., Мещанінов С.К. Критерій ефективності автоматичних комплексів поперечно-профільної прокатки. *Дніпродзержинськ*. 2014. Випуск 2 (25). С. 48–52.
10. Багрій В.В., Волошин Р.В., Жаров І.Д. Імітаційне моделювання системи подачі прутка в автоматизованих комплексах поперечно профільної прокатки. *Збірник наукових праць Дніпродзержинською державного технічного університету (технічні науки)*. Дніпродзержинськ, 2014. Випуск 2 (25). С. 52–57.
11. Багрій В.В., Бойко В.І., Красніков О.С. Дослідження використання алгоритму нечіткого виводу в системі управління комплексом поперечно-клинової прокатки. *Математичне моделювання*. 2013, № 2(29). С. 58–60.
12. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB: М.: Горячая линия — Телеком, 2007. 288 с.
13. Джон Хофман. Освоение Arduino. Проектный подход к электронике, схемам и программированию: Самиздат, 2018. 306 с.
14. Arduino IDE [Електронний ресурс] // Офіційний сайт Arduino. Мова: англійська. URL: <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>, (дата звернення 20.09.2021).
15. Петин В.А. Проекты с использованием контроллера Arduino: СПб., БВХ-Петербург, 2-е изд., перераб. и доп. 2015. 464 с.
16. Блум Джереми. Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства: СПб., БХВ-Петербург, Пер. с англ. 2015. 336 с.
17. Джеффри Тревис: LabVIEW для всех: ДМК Пресс, Прибор Комплект, Пер. с англ. Клушин Н. А.. 2005. 544 с.
18. Пейч Л. И., Точилин Д. А., Поллак Б. П. LabVIEW для новичков и специалистов: М.: Горячая линия, Телеком. 2004. 384 с.
19. Блюм П. LabVIEW: стиль программирования: М.: ДМК Пресс, Приборкомплект. 2010. 450с.
20. Суранов А. Я. LabVIEW 8.20: Справочник по функциям: М.: ДМК Пресс, 2007. 536 с.
21. LabVIEW user manual. National Instruments corp., 2010. 78 p.
22. Marco Schwartz, Oliver Manickum wartz Programming Arduino with LabVIEW: BIRMINGHAM, MUMBAI, Packt , Publishing Ltd. 2015. 89 p.

FUZZY REGULATOR OF THE ROD SUPPLY SYSTEM OF ARDUINO-BASED CROSS-WEDGE ROLLING MILL IN LABVIEW ENVIRONMENT

Bagriy V., Voloshyn R., Voloshina K.

Abstract

The main purpose of scientific work is to develop a regulator based on fuzzy logic for an electronic control system for the supply of bar billets in automated cross-wedge rolling complexes.

Cross-wedge rolling belongs to the advanced energy-saving technologies where technological processes based on metal cutting are replaced by economic processes of plastic forming of details. The

analysis showed that coefficient increase of metal utilization requires loss decrease arising from the supply inaccuracy of the bar workpiece to the length of the part. The task is to reproduce the given law of motion of the actuator, i.e. to ensure maximum speed, smooth acceleration and braking with the possibility of a shockless stop at the end of the stroke. The solution of this problem is proposed to be carried out by entering the fuzzy control unit into the structure of the system for controlling the supply.

The hardware basis of the control system in this work is the Arduino hardware and software complex based on the Atmel AVR microcontroller. The software model of the control system is developed in the graphical programming environment LabVIEW, which is widely used as a standard tool for data collection and control of devices in industry, education and research laboratories. The construction of a fuzzy regulator and its implementation are considered using Fuzzy Logic Designer.

On the basis of systematized knowledge about the object of research, its characteristics and features, linguistic input and output variables were selected, as well as membership functions and a fuzzy production model of knowledge was formulated. The configuration of the control system depends on the number of controlled outputs and controlled input data and in this case the MISO information structure is applied. The paper presents the front panel of the virtual device developed by LabVIEW, which is designed to display information about the current state of the system. The purpose of the developed fuzzy regulator model is to output the value of the initial air pressure in the cavity of the actuating pneumatic cylinder, which will create an air cushion in the process of advancing the piston, which has properties similar to those of a normal spring. Smooth stopping of the piston is provided by the coordinated choice of rigidity of a pneumatic spring taking into account length of a detail and weight of a rod and allows us to reduce kinetic energy in an end point of positioning that increases accuracy of supply.

The analysis of research results confirmed the efficiency and adequacy of the model used and the developed set of operation rules of the fuzzy regulator. Testing of the control system on parts of different lengths confirmed a reduction in total losses and an increase in the utilization of the metal.

References

- [1] Zade, L.A. (1976). *Poniatye linyvystycheskoi peremennoi y eho prymerenye k pryniatyiuy pryblizhennykh resheniy* [The concept of a linguistic variable and its application to making approximate decisions]. Moscow: Myr. 165 p. [in Russian].
- [2] Mamdani, E.H. & Assilian S. (1975) An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller: *Int. J. Man-Mach.* Vol. 7, №1. P.1–13.
- [3] Terano, T., & Asay, K., & Suheno, M. (1993) *Prykladnie nechetkye system* [Applied fuzzy systems]. Moscow: Myr. 368 p. [in Russian].
- [4] Kofman, A., & KhylAlukha, A. (2012) *Vvedenye v teoriyu nechetkykh mnozhestv v upravlenyy predpriyatyyamy* [Introduction to fuzzy set theory in enterprise management]. Mynsk, Belarus: Visshaia shkola. 222 p.
- [5] Hostev, V.Y. (2011) *Proektyrovanye nechetkykh rehuliatorov dlia system avtomaticheskoho upravleniya* [Design of fuzzy controllers for automatic control systems]. St. Petersburg: BKhV-Peterburh. 416 p. [in Russian].
- [6] Demenkov, N.P. (2005) *Nechetkoe upravlenye v tekhnicheskyykh systemakh* [Fuzzy control in technical systems]. Moscow: Yzd-vo MVTU ym. Baumana, 200 p. [in Russian].
- [7] Kyryk, V.V.(2019) *Matematychnyi aparat shtuchnoho intelektu v elektroenerhetychnyykh systemakh: pidruchnyk* [Mathematical apparatus of piece intelligence in electric power systems]. Kiev: KPI im. Ihoria Sikorskoho, Vyd-vo «Politekhnika». 224 p. [in Ukrainian].
- [8] Bahrii, V.V., & Voloshyn, R.V., & Chaban, V.A. (2019) Avtomatychne upravlinnia kompleksom poperechno-klynvoi prokatky prohranovanyim lohichnym kontrolerom na bazi aparatno-prohrannoi platformy Arduino [Automatic control of the cross-wedge rolling complex by a programmable logic controller based on the Arduino hardware and software platform]. Kamianske: Zbirnyk naukovykh prats Dniprodzerzhynskoiu derzhavnogo tekhnichnoho universytetu (tekhnichni nauky) – Collecion of the papers of the Dneprodzerzhinsk Universiti of tehcnical Sciences, 2 (35), P. 165–169. [in Ukrainian].

- [9] Bahrii, V.V., & Meshchaninov. S.K. (2014) Kryterii efektyvnosti avtomatychnykh kompleksiv poperechno-profilnoi prokatky [Efficiency criterion of automatic complexes in cross-sectional rolling]. Kamianske: Zbirnyk naukovykh prats Dniprodzerzhynskoiu derzhavnoho tekhnichnoho universytetu (tekhnichni nauky) – Collecniion of the papers of the Dneprodzerzhinsk Universiti of tehcnical Sciences, 2 (25), P. 48–52. [in Ukrainian].
- [10] Bahrii, V.V., & Voloshyn, R.V., & Zharov, I.D. (2014) Imitatsiine modeliuвання systemy podachi prutka v avtomatyzovanykh kompleksakh poperechno profilnoi prokatky [Imitation modeling of the bar feeding system in automated complexes of cross-sectional rolling]. Kamianske: Zbirnyk naukovykh prats Dniprodzerzhynskoiu derzhavnoho tekhnichnoho universytetu (tekhnichni nauky) – Collecniion of the papers of the Dneprodzerzhinsk Universiti of tehcnical Sciences, 2 (25), P. 52–57. [in Ukrainian].
- [11] Bahrii, V.V., Boiko, V.I., Krasnikov O.S. (2013) Doslidzhennia vykorystannia alhorytmu ne-chitkoho vyvodu v systemi upravlinnia kompleksom poperechno-klynovoi prokatky [Follow-up to the algorithm of fuzzy inference in the control system of the complex of cross-wedge rolling]. Kamianske: Matematychnе modeliuвання – Mathematical modeling, 2(29), P. 58–60. [in Ukrainian].
- [12] Shtovba, S. D. (2007) *Proektyrovanye nechetykhh system sredstvamy MATLAB [Designing fuzzy systems using MATLAB]*. Moscow: Horiachaia lynyia — Telekom, 288 p. [in Russian].
- [13] Dzhon Khofman. (2018) *Osvoenye Arduino. Proektnyi podkhod k elektronike, skhemam y prohrammyrovaniyu [Mastering Arduino. Design approach to electronics, circuits and programming]*. Moscow: Samyzzdat, 306 p. [in Russian].
- [14] Arduino IDE (19.10.2020). Ofitsiinyi sait Arduino [Arduino IDE]. URL: <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>, (data zvernennia 20.09.2021).
- [15] Petyn, V.A. (2015) *Proekt s yspolzovanyem kontrollera Arduino [Projects using the Arduino controller]*. St. Petersburg: BVKh-Peterburh, 2-e yzd., pererab. y dop. 464 p. [in Russian].
- [16] Blum Dzheremy. (2015) *Yzuchaem Arduino: ynstrumenti y metodi tekhnicheskoho volshebstva [Learning Arduino: Tools and Techniques for Tech Wizardry]*. St. Petersburg: BKhV-Peterburh, Per. s anhl. 336 p. [in Russian].
- [17] Dzheffry Trevys. (2005) *LabVIEW dlia vseh [LabVIEW for everyone]* Moscow: DMK Press, Prybor Komplekt, Per. s anhl. Klushyn N. A.. 544 p. [in Russian].
- [18] Peich, L.Y., & Tochylyn, D. A., & Pollak B. P. (2004) *LabVIEW dlia novychkov y spetsyalystov LabVIEW for beginners and experts]*. Moscow: Horiachaia lynyia, Telekom, 384 p. [in Russian].
- [19] Blium P. (2010) *LabVIEW: styl prohrammyrovanyia [LabVIEW: programming style]*. Moscow: DMK Press, Pryborkomplekt. 450 p. [in Russian].
- [20] Suranov, A.Ya. (2007) *LabVIEW 8.20: Spravochnyk po funktsiyam [LabVIEW 8.20: Function Reference]*. Moscow: DMK Press, 536 p. [in Russian].
- [21] LabVIEW user manual (2021) National Instruments corp., 78 p.
- [22] Marco Schwartz, Oliver Manickum wartz (2015) *Programming Arduino with LabVIEW*: BIR-MINGHAM, MUMBAI, Packt, Publishing Ltd.. 89 p.