

УДК 681.518.22

doi:10.20998/2413-4295.2023.01.03

## ФОРМУВАННЯ ТЕСТОВИХ ВПЛИВІВ ДЛЯ ПЕРШОГО РІВНЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ВІМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

**І. В. ГРИГОРЕНКО\*, С. І. КОНДРАШОВ, О. С. ОПРИШКІН**

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій і систем НТУ «ХПІ», Харків, УКРАЇНА

\*e-mail: grigmaestro@gmail.com

**АНОТАЦІЯ** Питання підвищення ефективності систем помелу кави завдяки бездемонтажному тестовому контролю метрологічних характеристик інформаційно-вимірювальних систем залишається актуальним на сьогоднішній, незважаючи на те, що цим питанням продовжують займатися як вітчизняні так і закордонні вчені. Тестові методи контролю знайшли широке застосування у різноманітних галузях виробництва і системи помелу не є виключенням. Окрім чинників, що впливають на процес помелу кави треба враховувати зміну метрологічних характеристик як окремих компонентів обладнання так і інформаційно-вимірювальної системи у цілому. Оскільки процес помелу є динамічним то необхідно проводити тестовий контроль обладнання без припинення роботи. Виникає потреба в бездемонтажному тестовому контролі шляхом формування адитивних і мультиплікативних тестових впливів на першому рівні інформаційно-вимірювальної системи. Складністю є те, що при побудові математичної моделі процесу практично неможливо врахувати динамічні зміни на об'єкті, які можуть бути і лінійними, і нелінійними. Вказана особливість процесу помелу робить необхідним перехід до створення ситуаційної системою з нечіткою логікою, яка може допомогти у визначенні оптимального співвідношення між характеристиками технологічного обладнання для забезпечення мінімального значення динамічної похибки. У роботі для створення ситуаційної системою з нечіткою логікою було обрано метод побудови нечіткого висновку Mamdani. Цей алгоритм найбільш поширений, коли необхідно допомогти у прийнятті рішення інженеру-метрологу. За допомогою графічного інтерфейсу користувача побудовано ситуаційну систему з нечіткою логікою для першого рівня інформаційно-вимірювальної системи, що здатна визначати такі параметри, що забезпечать мінімальне значення динамічної похибки системи помелу при відпрацюванні дії адитивних і мультиплікативних тестових впливів. Використання представленого підходу може бути поширено на клас задач по визначенню оптимального співвідношення між різноманітними параметрами для отримання найкращого результату.

**Ключові слова:** інформаційно-вимірювальна система; нечітка логіка; динамічна похибка; адитивний тест; мультиплікативний тест.

## FORMATION OF TEST IMPACTS FOR THE FIRST LEVEL OF THE INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEM

**I. HRYHORENKO\*, S. KONDRASHOV, O. OPRYSHKIN.**

Department of of information and measuring technologies and systems, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, UKRAINE

**ABSTRACT** The issue of increasing the efficiency of coffee grinding systems thanks to non-dismantling test control of metrological characteristics of information and measurement systems remains relevant today, despite the fact that both domestic and foreign scientists continue to deal with this issue. Test control methods are widely used in various industries, and grinding systems are no exception. In addition to the factors affecting the coffee grinding process, it is necessary to take into account the change in the metrological characteristics of both the individual components of the equipment and the information and measurement system as a whole. Since the grinding process is dynamic, it is necessary to carry out test control of the equipment without stopping work. There is a need for non-dismantling test control by forming additive and multiplicative test effects at the first level of the information and measurement system. The difficulty is that when building a mathematical model of the process, it is practically impossible to take into account dynamic changes on the object, which can be both linear and non-linear. The specified feature of the grinding process makes it necessary to move to the creation of a situational system with fuzzy logic, which can help in determining the optimal relationship between the characteristics of the technological equipment to ensure the minimum value of the dynamic error. The Mamdani fuzzy inference construction method was chosen in the work to create a situational system with fuzzy logic. This algorithm is most common when it is necessary to help a metrological engineer in making a decision. With the help of a graphical user interface, a situational system with fuzzy logic was built for the first level of the information and measurement system, which is able to determine such parameters that will ensure the minimum value of the dynamic error of the grinding system when working out the action of additive and multiplicative test effects. The use of the presented approach can be extended to the class of problems of determining the optimal ratio between disparate parameters to obtain the best result.

**Keywords:** information and measurement system; fuzzy logic; dynamic error; additive test; multiplicative test.

### Вступ

Вирішення важливого на сьогодні питання контролю й керування технологічним процесом

можливе тільки на основі системного підходу до визначення точності, оскільки вирази, що характеризують сумарні похибки систем активного контролю враховують вплив як метрологічних так і

технологічних факторів.

На цей час у промисловості широко застосовуються адаптивні системи активного контролю й керування. Такі системи керують технологічним процесом і роблять це з урахуванням шкідливих зовнішніх впливів, а також змін характеристик і самого технологічного процесу, і системи контролю й керування (СКК). У таких випадках необхідність самоконтролю системи, завдяки використанню СКК стає особливо важливим.

Проблема забезпечення метрологічної надійності вимірювальних перетворювачів (ВП) і підвищення їх точності має розглядатися з урахуванням наявності двох основних аспектів її вирішення. По-перше, – це вирішення традиційної проблеми метрологічного забезпечення ВП, а по-друге, – вирішення проблеми розробки методів і засобів бездемонтажних тестових метрологічних випробувань ВП [1].

Серед методів зменшення похибки вимірів найбільш ефективними на думку авторів є бездемонтажні тестові методи контролю і методи, засновані на використанні зразкових мір.

У формуванні тестів приймає участь вимірювана величина, що дозволяє формувати тести без її відключення від входу вимірювального перетворювача. Це досить важливо при вимірі неелектричних величин. У реальних вимірювальних системах знаходять застосування адитивні тести, що формуються блоком адитивних тестів (БАТ) та мультиплікативні тести, які створюються блоком створення мультиплікативних тестів (БМТ).

У роботі [2] показано, що використовуючи графічний інтерфейс вийшло побудувати ситуаційну систему з нечіткою логікою (ССНЛ), що зробила можливим встановлення для другого рівня інформаційно-вимірювальної системи (ІВС), на якому саме і формується «образ» об'єкта контролю, оптимальні технологічні режими, для забезпечення максимальної однорідності помелу зерна кави. Також встановлено чинники, що впливають на однорідність помелу. Встановлено, що крім чинників, що впливають треба враховувати і ступень зносу ріжучих поверхонь, і люфт у механічних передачах. Створенню систем управління якістю помелу кави та визначенню факторного впливу на якість та однорідність помелу присвячено ряд робіт закордонних вчених [3-6].

Проведений аналіз сучасних автоматичних та автоматизованих систем контролю та управління технологічними процесами помелу [7-9] дає можливість стверджувати, що залишилось не вирішеним питання створенні ССНЛ для першого рівня ІВС, яка здатна визначити такі параметри технологічного обладнання, що забезпечать мінімізацію динамічної похибки системи помелу кави у процесі відпрацювання адитивних та мультиплікативних тестових впливів.

Об'єкт дослідження – тестові методи контролю обладнання технологічного процесу помелу кави.

Предмет дослідження – є фактори, які впливають на динамічну похибку системи помелу.

### Мета роботи

На виробництві і у біту стає задача – підвищення ефективності управління системами помелу кави шляхом впровадження ситуаційної системи з нечіткою логікою, що буде корисна для інженерів і експертів-метрологів, які приймають рішення про оцінку стану об'єкта контролю. Задачі, що вирішує експертна система на першому рівні інформаційно-вимірювальної системи це призначення відповідних допусків для кожного із параметрів, що контролюються, для того, щоб визначити необхідні засоби вимірювань і значення їх граничних похибок, які необхідно контролювати у робочих режимах. Можливо вирішення задачі прогнозування стану кожного вимірювального перетворювача, враховуючи зміни динамічної похибки.

Мета роботи – формування тестових впливів завдяки побудові ССНЛ для першого рівня ІВС, яка надасть можливість визначити параметри, що забезпечать мінімальне значення динамічної похибки системи помелу при відпрацюванні дії як адитивних так і мультиплікативних тестів.

### Основна частина

Створення ССНЛ для першого рівня ІВС, потребує врахування дії адитивних і мультиплікативних тестових впливів на систему помелу зерна кави, що необхідно для корекції вхідних сигналів з метою забезпечення максимальної однорідності помелу.

Створення адитивних та мультиплікативних тестів для систем помелу кави проходить у декілька етапів: на першому етапі відбувається перетворення вимірювальної величини  $x$  (однорідність помелу), а у продовж  $n$  інших етапів – формуються тести  $A_1(x)$ ,  $A_2(x)$ , ...,  $A_n(x)$ , кожний з яких являє собою функцією деякої вимірюваної величини  $x$ . Отримані результати основного і додаткових етапів, можуть бути представлені у вигляді [10]:

$$y_0 = a_1 + a_2x + \dots + a_nx^{n-1}; \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= a_1 + a_2A_1(x) + \dots + a_n[A_1(x)]^{n-1}; \\ \dots &\dots \\ y_n &= a_1 + a_2A_n(x) + \dots + a_n[A_n(x)]^{n-1}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Для того, щоб отримати тестовий алгоритм, що здатний оцінити якість та ефективність роботи системи помелу, необхідно визначити реальні параметри  $a_1, a_2, \dots, a_n$ , що притаманні математичній моделі вихідного вимірювального пристрою із

рівняння (1), а далі знайти значення вимірювальної величини з рівняння (2) при підстановці у нього поточних значень  $a_1, a_2, \dots, a_n$ . Остаточне співвідношення, що показує зв'язок вхідної величини з результатами  $y_n$  перетворень і величинами  $A_1(x), A_2(x), \dots, A_n(x)$  тестів, буде алгоритмом оцінювання ефективності роботи системи помелу [10]. Точність визначення елементів математичної моделі системи контролю залежить від якості роботи і стабільності блоків формування тестів, що створюють допоміжні величини  $A_i(x)$ , тобто тести, що необхідні для складання системи рівнянь (2) [10].

При експлуатації систем помелу необхідно застосовувати адитивні тести, які створюються блоком адитивних тестів, а також мультиплікативні тести, що створюються блоком формування мультиплікативних тестів. Як адитивні, так і мультиплікативні тести можна розділити на незалежні й функціональні. Отже незалежні адитивні тести формуються у вигляді суми

$$A_i(x) = x + \theta_i, \quad (3)$$

де  $\theta_i$  – постійна складова адитивного тесту, що є незалежною від  $x$  величиною [10].

Незалежні мультиплікативні тести формуються у вигляді добутку

$$A_i(x) = K_i(x), \quad (4)$$

де  $K$  – незалежний від  $x$  коефіцієнт перетворення блоку мультиплікативного тесту [10].

Функціональні адитивні та мультиплікативні тести для системи помелу кави відповідно мають вигляд:

$$A_i(x) = x + \theta_i(x); A_i(x) = K_i(x) \cdot x, \quad (5)$$

де  $\theta_i(x)$  і  $K_i(x)$  – деякі відомі функції  $x$  [10].

У практичних задачах знайшли застосування незалежні адитивні й мультиплікативні тести, оскільки вони легко формуються як для електричних, так і для неелектричних величин. Отже є можливість проводити тестування систем помелу саме у динамічному режимі.

Адитивним тестом для системи помелу буде додавання до порції на дев'ять чашок кави ще одної порції (8 – 10 грам) зерна з підвищеною вологістю (25 % RH). Якщо система помелу не має люфтів і зносу ріжучої частини жорнову, то додання тестової порції не вплине суттєво на однорідність помелу. У якості мультиплікативного тесту будимо змінювати швидкість обертів валу двигуна, завдяки зміні рівня керуючої напруги. Якщо використати блоки формування незалежних від  $x$  адитивних та мультиплікативних тестів то з урахуванням системи

(2) можна знайти оцінки коефіцієнтів  $a_1, a_2$  і оцінку значення вхідного сигналу  $\hat{x}$

$$\hat{a}_1 = y_1 - \frac{y_3 - y_1}{K}; \hat{a}_2 = \frac{y_2 - y_1}{\theta}; \hat{x} = \frac{y_3 - y_1}{y_2 - y_1} \cdot \frac{\theta}{(K - 1)}. \quad (6)$$

Із (6) витікає, що результат вимірювання  $x$  залежить від параметрів  $\theta$  і  $K$ , блока адитивних і мультиплікативних тестів. Додаткове перетворення змішаного тесту  $A_4(x) = A_3[A_2(x)]$  дозволяє виключити вплив нестабільності мультиплікативного тесту. Оцінку значення вхідної величини  $x$  знаходять:

$$\hat{x} = \frac{y_4 - y_1}{(y_4 - y_2) - (y_3 - y_1)} \cdot \theta, \quad (7)$$

де  $y_4 = a_1 + a_2 \cdot K \cdot (x + \theta)$  – результат третього, додаткового вимірювання.

Проведемо експериментальні дослідження впливу параметрів кавомолки та параметрів процесу перемелювання на ступінь однорідності помелу кавового зерна при дії адитивних і мультиплікативних тестових впливів. Для проведення дослідження реакції системи помелу на тестові впливи був створений лабораторний стенд на базі жорнової кавомолки Samru CR 4443.

Частота обертання валу двигуна, до якого жорстко приєднаний нерухомий жорнов, вимірювалась за допомогою тахометра. Керування частотою обертів виконувалось за допомогою підключення автотрансформатора. Тривалість процесу проходження тестів при подрібненні зерна кавового вимірювалась за допомогою електронного секундоміру. Якість помелу оцінювалась за допомогою сита для борошна. Визначення однорідності кавового порошку проводилось просіюванням через стандартне сито з отворами 0,5 мм. Дослідження проводилося з урахуванням часу помелу. Для визначення однорідності помелу знаходили масу меленого кавового порошку у відсотках, що просіялася через стандартне сито за формулою:

$$H = \frac{M_2}{M_1} \cdot 100\%, \quad (8)$$

де  $M_2$  – маса кавового порошку, що пройшла крізь стандартне сито 0,5 мм;  $M_1$  – загальна маса кавового порошку. Результати досліджень зведено у табл. 4.1. На підставі отриманих результатів можна зробити наступні висновки:

– відпрацювання адитивного тесту показало, що рівень вологості порошку кави поступово зменшується, завдяки розігріву і суттєво не впливає на однорідність помелу (78,8 % з тестом і 79,0 % без тесту) при збереженні точності роботи системи

помелу (відсутність люфтів, відсутність зносу поверхні жорнової);

– відпрацювання мультиплікативного тесту показало, що при збільшенні обертів на 50 об/хв у процесі помелу зерна кави з рівнем вологості 12 % однорідність помелу суттєво не змінилась (80,5 % з тестом і 79,5 % без тесту) при збереженні точності

роботи системи помелу;

– по реакції системи помелу на адитивний і мультиплікативний тести вдається оцінити якість роботи за результатом збереження значень однорідності помелу зерна кави у порівнянні з однорідністю помелу, що отримана без дії тестів.

Таблиця 1 – Результати тестових досліджень

Час, сек.	Адитивний тестовий вплив: при 700 об/хв; відстань між жорновими 0,5 мм			Мультиплікативний тестовий вплив: відстань між жорновими 0,5 мм; вологість кавового зерна 12 %	
	Однорідність помелу (H), %	Вологість кавового зерна, RH %	Маса кавового зерна, гр	Однорідність помелу, %	Кількість обертів валу двигуна, об/хв
1	4,7	12	70	4,7	700
2	10,4	12	70	10,4	700
3	20,6	12	70	20,6	700
4	40,8	12	70	40,8	700
5	30,2	13,7	80	50,3	750
6	34,4	13,7	80	62,4	750
7	38,4	13,7	80	65,7	750
8	40,9	13,7	80	66,9	750
9	55,3	13,6	80	68,4	750
10	62,6	13,6	80	70,5	750
11	65,8	13,5	80	72,9	750
12	70,4	13,5	80	74,2	750
13	75,7	13,5	80	75,7	750
14	76,2	13,4	80	76,2	750
15	76,5	13,3	80	77,5	750
16	77,6	13,1	80	78,4	750
17	78,7	13,0	80	79,6	750
18	78,8	12,8	80	80,5	750

Графічне відображення отриманих залежностей представлено на рис. 1, і рис. 2.

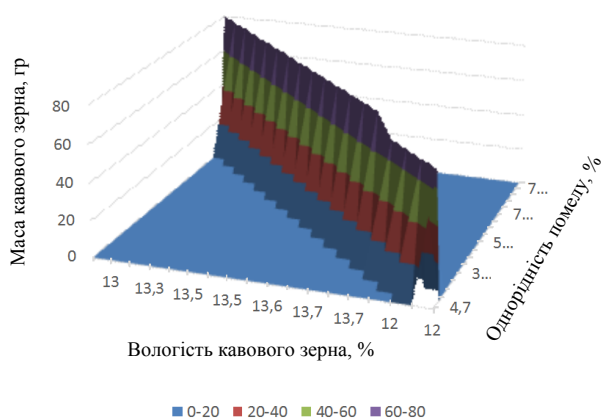


Рис. 1 – Відпрацювання системою помелу адитивного тесту

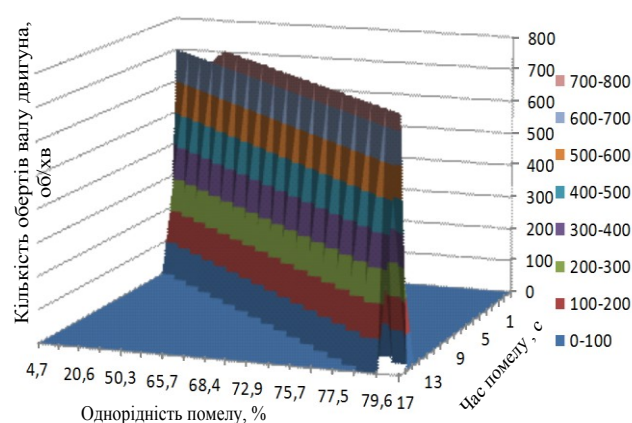


Рис. 2 – Відпрацювання системою помелу мультиплікативного тесту

У роботі [11] було визначено, що на динамічну

похибку астатичної системи впливають два основних параметри це нестабільність сталої часу ланки  $\Delta T$  та нестабільність коефіцієнта перетворення  $\Delta k$  ланок. При аналізі динамічних характеристик астатичних систем, якими є системи помелу, доцільно використовувати інтегральний критерій помилки, що у свою чергу зручно представити за допомогою апарата теорії нечітких множин.

Використаємо таке поняття як функція належності щоб мати змогу характеризувати величину відхилення параметрів від бажаних значень при моделюванні розкиду параметрів системи.

Функції належності  $\mu_k(k)$  і  $\mu_T(T)$  характеризують відповідно відхилення параметрів  $k$  і  $T$ . Оскільки основним елементом системи помелу кави є двигун, то його передатна функція буде мати вигляд:

$$H(p; T, k) = \frac{k}{T \cdot p}, \quad (9)$$

де  $T$  – стала часу двигуна,  $k$  – коефіцієнт перетворення,  $p$  – комплексний параметр,  $p = j\omega$ . Для такої передатної функції отримаємо [11]:

$$H(t; \mu_k(k), \mu_T(T)=1) = \begin{cases} H(t) + \frac{[1 - \mu_k(k)]A}{T} & \text{для } k \geq \bar{k} \\ H(t) - \frac{[1 - \mu_k(k)]A}{T} & \text{для } k < \bar{k} \end{cases},$$

де  $H(t) = \frac{k}{T} \cdot e^{-\frac{t}{T}}$ ;  $\bar{k}$  – істинне значення

коефіцієнту перетворення;  $A$  – константа, що суб'єктивно призначається розробником.

Основне завдання аналізу системи помелу полягає у тому, щоб максимально зменшити інтегральну динамічну похибку, яка виникає при відпрацюванні системою вхідного впливу.

Параметри системи помелу повинні бути стабільні у часі. Для  $k$  і  $T$  треба визначити можливі припустимі інтервали зміни у яких забезпечується припустиме значення динамічної похибки  $A$  і  $B$  відповідно. Обираємо лінійні функції належності для параметрів  $k$  та  $T$ , які характеризують значення можливого відхилення параметрів [11]:

$$\mu_k(k) = 1 - \frac{|k - \bar{k}|}{A}, \quad (10)$$

$$\mu_T(T) = 1 - \frac{|T - \bar{T}|}{B}, \quad (11)$$

$\bar{T}$  – істинне значення постійної часу ланки. Тоді, можна записати:

$$k = \begin{cases} \bar{k} + [1 - \mu_k(k)]A & \text{для } k \geq \bar{k}, \\ \bar{k} - [1 - \mu_k(k)]A & \text{для } k < \bar{k}. \end{cases} \quad (12)$$

$$T = \begin{cases} \bar{T} + [1 - \mu_T(T)]B & \text{для } T \geq \bar{T}, \\ \bar{T} - [1 - \mu_T(T)]B & \text{для } T < \bar{T}, \end{cases} \quad (13)$$

де  $\bar{k}$  й  $\bar{T}$  істинні значення для нечітких параметрів  $k$  і  $T$  відповідно.

Для системи з передаточною функцією (9) інтегральна динамічна похибка буде мати вигляд:

$$\varphi(k, T) = \int_0^{\infty} k \cdot e^{-\frac{t}{T}} dt = k \cdot T.$$

Крайніми випадками функції  $\varphi(k, T)$  будуть максимум і мінімум динамічних похибок  $\varphi_{max}$  і  $\varphi_{min}$ .

Номінальна інтегральна помилка визначається в інтервалі  $\varphi_{min} < \varphi < \varphi_{max}$  й дорівнює  $\bar{k} \cdot \bar{T}$ .

Зв'язок нечітких змінних  $k$  і  $T$  з вихідною цільовою функцією можна представити у вигляді [11]:

$$\mu(\varphi) = \begin{cases} 1 & \text{для } \varphi \leq \varphi_{min} \\ \frac{\varphi_{max} - \varphi}{\varphi_{max} - \varphi_{min}} & \text{для } \varphi_{min} < \varphi < \varphi_{max} \\ 0 & \text{для } \varphi \geq \varphi_{max} \end{cases} \quad (14)$$

Функція належності  $\mu(\varphi)$  будується у вигляді лінійної функції із зонами насичення. Цю модель (14) доцільно використовувати при оцінці динамічної інтегральної похибки при аперіодичному процесі

$$\Delta_D = \Delta k \cdot \Delta T,$$

де  $\Delta k$  і  $\Delta T$  – абсолютні похибки коефіцієнту передачі та сталої часу відповідно.

Введемо параметрами конкретного інтегруючого елементу (двигуна), що використовується у жорновій кавомолці Самгу CR 4443:  $\bar{k} = 200$ ,  $A = 20$ ,  $\bar{T} = 0,1$  сек.,  $B = 0,05$ .

$$\varphi = 200 \cdot 0,1 = 20.$$

$$\varphi_{max} = (\bar{k} + A) \cdot (\bar{T} + B),$$

$$\varphi_{max} = (200 + 20) \cdot (0,1 + 0,05) = 33.$$

$$\varphi_{max} = (\bar{k} - A) \cdot (\bar{T} - B),$$

$$\varphi_{min} = (200 - 20) \cdot (0,1 - 0,05) = 9.$$

Визначення мінімуму динамічної похибки системи помелу кави виконаємо використовуючи інтерфейс користувача системи fuzzy-logic програми MatLab. Для вирішення поставленої задачі будимо використовувати побудову нечіткого висновку ситуаційного по типу Mamdani. Цей алгоритмом дуже відрізняє від інших алгоритмів саме тим, що його правила логічного висновку, які розташовані у правій частині рівняння містять нечіткі значення (функції належності). Таким чином процедура одержання нечіткого значення виходу являє собою композицією *max-min* [12 – 14].

Для побудови евристичного аналізатору приймаємо, що  $k = [100 \div 200]$ ,  $T = [0,05..0,2]$  сек.,  $\Delta_D = [0..0,1]$  сек. [11]. Метою при рішенні завдання знаходження мінімуму динамічної похибки системи помелу кави на основі теорії нечітких множин виступає знаходження максимального значення функції належності  $\mu(\varphi)$  коли змінні  $k$  і  $T$  приймають найбільші значення:  $k \geq \bar{k}$ ,  $T \geq \bar{T}$  [11].

У моделі буде два входи та один вихід. Перший вхід це коефіцієнт передачі ланки. Другий вхід це постійна часу ланки. Вихідним параметром буде – значення динамічної похибки (рис. 3).

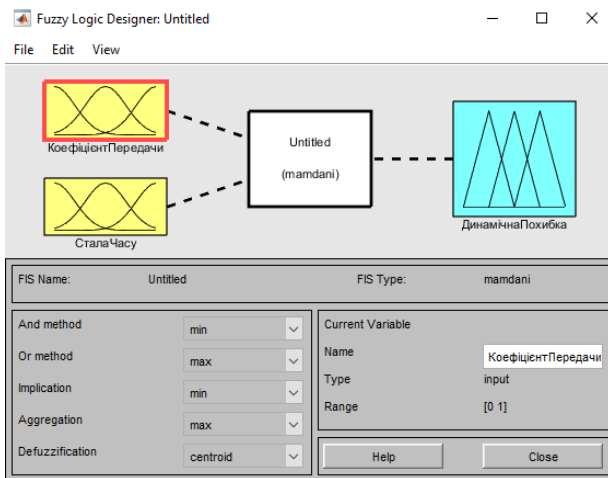


Рис. 3 – Вікно завдання вхідних та вихідних параметрів для системи fuzzy-logic

Будимо задавати функції належності для обраної вхідної змінної. У нашому випадку це коефіцієнт передачі ланки. У пункті *Range* встановимо діапазон у якому змінюється функція (від 100 до 200). Задаємо тип функції належності для трьох функцій належності, тобто мінімальної (*min*), середньої (*norm*) та максимальної (*max*). Обираємо трикутний закон розподілу для усіх трьох функцій.

Задаємо функції належності для другої вхідної величини – сталої часу. Встановимо діапазон у якому змінюється функція (від 0,05 до 0,2 сек.). Задаємо саме тип функції належності для усіх трьох функцій належності, а саме мінімальної (*min*), далі – середньої

(*norm*) і максимальної (*max*). Потім обираємо трикутний закон розподілу для усіх трьох функцій.

Задаємо функції належності для обраної вихідної змінної – величина динамічної похибки. Встановимо діапазон у якому змінюється функція (від 0 до 0,1 сек.). Задаємо тип функції належності – (*delta*). Обираємо розподіл (*trimf*) трикутний закон розподілу.

Задаємо правила, за якими буде діяти ситуаційної системи з нечіткою логікою. Графічне зображення дії правил представлено на рис. 4.

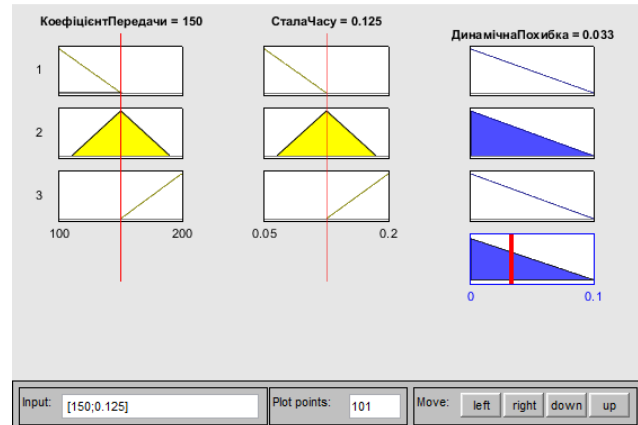


Рис. 4 – Графічне зображення дії правил, що демонструє отримання мінімального значення динамічної похибки

Поверхня відгуку центр ваги якої вказує на мінімум динамічної похибки представлено на рис. 5.

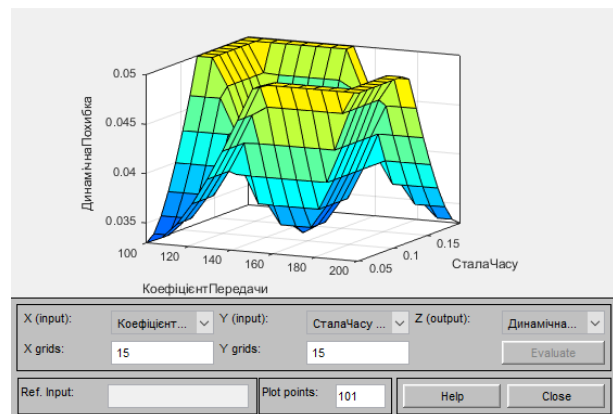


Рис. 5 – Поверхня відгуку

## Результати

На підставі виконаного комп'ютерного моделювання при використанні інтерфейсу системи fuzzy-logic, вдалося отримати наступні результати:

1) на підставі отриманих результатів стає очевидним, що мінімальне значення динамічної похибки (0,033 сек.) можна отримати при значенні коефіцієнту передачі 150, постійній часу 0,125 сек. (рис. 4).

2) за допомогою інтерфейсу користувача вдалося створити ССНЛ, що зробила можливим визначити параметри, які забезпечать досягнення мінімального значення динамічної похибки технологічного обладнання на першому рівні ІВС.

### Висновки

Вирішено задачу формування тестових впливів завдяки побудові ССНЛ для першого рівня ІВС, яка дала можливість визначити параметри, що забезпечують мінімальне значення динамічної похибки системи помелу кави при відпрацюванні дії як адитивних так і мультиплікативних тестів.

Наукова новизна результатів є у тому, що:

– запропоновано використання створеної ССНЛ для визначення оптимального співвідношення між сталою часу двигуна і його коефіцієнтом передачі при помелі зерна кави для отримання мінімального значення динамічної похибки;

– запропоновано нечітка модель управління для задачі тестового контролю технологічного обладнання системи помелу і першого рівня ІВС.

Практична цінність представленої роботи полягає у визначенні режимів системи помелу зерна кави з мінімальною динамічною похибкою, що впливає на якість помелу.

По реакції системи помелу на адитивний і мультиплікативний тести вдається оцінити якість роботи за результатом збереження значень однорідності помелу зерна кави у порівнянні з однорідністю помелу, що отримана без дії тестів.

Перспективи подальших досліджень полягають у розрахунку кількості очікуваної вимірювальної інформації про рівень параметру – однорідність помелу зерна кави для кожного з обраних показників контролю, а саме вологості зерна, часу помелу, кількості обертів валу двигуна за хвилину, та ранжирувати ці показники у порядку зменшення кількості цієї інформації.

### Список літератури

1. Кондрашов С. І. Підвищення точності вимірювальних перетворювачів з формуванням у реальних умовах тестових впливів: дис. на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук: 05.11.05 – Харків, 2004. – 412 с.
2. Кондрашов С. І., Григоренко І. В., Опришкін О. С. Розроблення ситуаційної системи з нечіткою логікою для другого рівня інформаційно-вимірювальної системи. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2022. № 4 (14). С. 24-34. doi:10.20998/2413-4295.2022.04.04.
3. Nancy Cordoba, Laura Pataquiva, Coralia Osorio, Fabian Leonardo Moreno Moreno, Ruth Yolanda Ruiz. Effect of grinding, extraction time and type of coffee on the physicochemical and flavor characteristics of cold brew coffee. *Sci. Rep.* 2019. 9. 8440. doi: 10.1038/s41598-019-44886-w.

4. Jonathan D. Walston, Daniel L. Short, M. Affan Badar. An Experimental Design on Coffee Extraction Factors Impacting the Measurable Percent of Total Dissolved Solids in Solution. *Asia-Pacific Journal of Management Research and Innovation*. 2023. P. 1–11. doi: 10.1177/2319510X221136690.
5. Anderson G. Costa, Eudócio R. O. da Silva, Murilo M. de Barros, Jonathan A. Fagundes. Estimation of percentage of impurities in coffee using a computer vision system. *Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering*. 2022. v. 26, № 2. P. 142-148. doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v26n2p142-148.
6. Angeloni, G., Guerrini, L., Masella, P. et al. Test of an innovative method to prepare coffee powder puck, improving espresso extraction reliability. *Eur Food Res Technol*. 2022. 248. P. 163-170. doi: 10.1007/s00217-021-03868-x.
7. Місяць В. П., Рубанка М. М., Демішонкова С. А. Система адаптивного керування приводом автоматичних кавових машин. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2021. № 1. 293. С. 151-159. doi: 10.31891/2307-5732-2021-293-1-151-159.
8. Автоматизація процесів помелу. URL: <https://budtehnika.pp.ua/707-avtomatizatsiya-procesv-pomelu.html> (дата звернення: 01.08.2022).
9. Виробництво та виробничий процес. URL: <https://dcb.com.ua/uk/production> (дата звернення: 29.08.2022).
10. Кондрашов С. І., Григоренко І. В., Опришкін О. С. Застосування тестових методів контролю для підвищення ефективності систем помелу зерен кави. *IV Міжнародна науково-технічна конференція: Автоматизація, електроніка, інформаційно-вимірювальні технології: освіта, наука, практика*. – Харків: НТУ «ХПІ», 2022. С. 115, 116.
11. Кондрашов С. І., Григоренко І. В. Використання теорії нечітких множин для оцінки динамічної похибки астатичних компенсаційних перетворювачів. *Український метеорологічний журнал*. Харків, 2011. № 1. С. 43-46.
12. Wu H., Mendel J. M. On Choosing Models for Linguistic Connector Words for Mamdani Fuzzy Logic Systems. *IEEE Trans. on Fuzzy Systems*. 2004. Vol. 12. P. 29-44. doi: 10.1109/TFUZZ.2003.822675.
13. Hrihorenko I., Tverytnykova E., Hrihorenko S., Drozdova T. Application of user interface Fuzzy Logic Toolbox for quality control of products and services. *Advanced information system, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»*. 2019. Vol. 3, № 4. P. 118-125. doi: 10.20998/2522-9052.2019.4.18.
14. Sankar Ganesh S., Bhargav Reddy N., Arulmozhivarman P. Forecasting air quality index based on Mamdani fuzzy inference system. *2017 International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICEI)*, Tirunelveli, India. doi: 10.1109/ICOEI.2017.8300944.

### References (transliterated)

1. Kondrashov S. I. Pidvyshchennya tochnosti vymiryuvalnykh peretvoryuvachiv z formuvannyam u realnykh umovakh testovykh vplyviv: dys. na zdobuttya naukovoho stupenya doktora tekhnichnykh nauk: 05.11.05. Kharkiv, 2004. 412 p.
2. Kondrashov S., Hryhorenko I., Opryshkin O. Development of a situation system with fuzzy logic for the second level of the information and measurement system. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New*

- solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2022, no. 4 (14), pp. 24–34, doi:10.20998/2413-4295.2022.04.04.
3. Nancy Cordoba, Laura Pataquiva, Coralia Osorio, Fabian Leonardo Moreno Moreno, Ruth Yolanda Ruiz. Effect of grinding, extraction time and type of coffee on the physicochemical and flavor characteristics of cold brew coffee. *Sci. Rep.*, 2019, 9, 8440, doi: 10.1038/s41598-019-44886-w.
  4. Jonathan D. Walston, Daniel L. Short, M. Affan Badar. An Experimental Design on Coffee Extraction Factors Impacting the Measurable Percent of Total Dissolved Solids in Solution. *Asia-Pacific Journal of Management Research and Innovation*, 2023, pp. 1-11, doi: 10.1177/2319510X221136690.
  5. Anderson G. Costa, Eudócio R. O. da Silva, Murilo M. de Barros, Jonathan A. Fagundes. Estimation of percentage of impurities in coffee using a computer vision system. *Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering*, 2022, vol. 26, № 2, pp. 142-148, doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v26n2p142-148.
  6. Angeloni, G., Guerrini, L., Masella, P. et al. Test of an innovative method to prepare coffee powder puck, improving espresso extraction reliability. *Eur Food Res Technol*, 2022, 248, pp. 163-170, doi: 10.1007/s00217-021-03868-x.
  7. Misyats V. P., Rubanka M. M., Demishonkova S. A. Systema adaptivnoho keruvannya pryvodom avtomatychnykh kavovykh mashyn. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu*, 2021, №1, 293, pp. 151-159, doi: 10.31891/2307-5732-2021-293-1-151-159.
  8. Avtomatyzatsiya protsesiv pomelu. Available at: <https://budtehnika.pp.ua/707-avtomatizatsiya-procesiv-pomelu.html> (accessed: 01.08.2022).
  9. Vyrobnystvo ta vyrobnychy protses. Available at: <https://dcb.com.ua/uk/production> (accessed: 29.08.2022).
  10. Kondrashov S. I., Hryhorenko I. V., Opryshkin O. S. Zastosuvannya testovykh metodiv kontrolyu dlya pidvyshchennya efektyvnosti system pomelu zeren kavy. *IV Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiya: Avtomatyzatsiya, elektronika, informatsiyno-vymiryuvalni tekhnolohiyi: osvita, nauka, praktyka*. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2022, pp. 115, 116.
  11. Kondrashov S. I., Hryhorenko I. V. Vykorystannya teoriiy nechitkykh mnozhyn dlya otsinky dynamichnoyi pokhybky astatychnykh kompensatsiynykh peretvoryuvachiv. *Ukrayinskyy metrolohichnyy zhurnal*, Kharkiv, 2011, № 1, pp. 43-46.
  12. Wu H., Mendel J.M. On Choosing Models for Linguistic Connector Words for Mamdani Fuzzy Logic Systems. *IEEE Trans. on Fuzzy Systems*, 2004, vol. 12, pp. 29-44, doi: 10.1109/TFUZZ.2003.822675.
  13. Hrihorenko I., Tverytnykova E., Hrihorenko S., Drozdova T. Application of user interface Fuzzy Logic Toolbox for quality control of products and services. *Advanced information system, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»*, 2019. Vol. 3, № 4, pp. 118-125, doi: 10.20998/2522-9052.2019.4.18.
  14. Sankar Ganesh S., Bhargav Reddy N., Arulmozhivarman P. Forecasting air quality index based on Mamdani fuzzy inference system. *2017 International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICEI)*, Tirunelveli, India. doi: 10.1109/ICOEI.2017.8300944.

#### Відомості про авторів (About authors)

**Ігор Володимирович Григоренко** – кандидат технічних наук, професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій і систем Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна. ORCID: 0000-0002-4905-3053; e-mail: grigmaestro@gmail.com

**Ігор Хригоренко** – PhD, Professor of the Department of information and measuring technologies and systems National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine. ORCID: 0000-0002-4905-3053; e-mail: grigmaestro@gmail.com.

**Сергій Іванович Кондрашов** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій і систем Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна. ORCID: 0000-0002-5191-8562; e-mail: Serhii.Kondrashov@khp.edu.ua

**Serhii Kondrashov** – Doctor of Sciences, Professor, Department of Information and Measuring Technologies and Systems National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» Kharkiv, Ukraine. ORCID: 0000-0002-5191-8562; e-mail: Serhii.Kondrashov@khp.edu.ua

**Олександр Сергійович Опришкін** – аспірант кафедри інформаційно-вимірювальних технологій і систем Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна; e-mail: Aleksandr.Opryshkin@cit.khp.edu.ua

**Aleksandr Opryshkin** – Postgraduate student, Department of Information and Measuring Technologies and Systems National, Kharkiv, Ukraine; e-mail: Aleksandr.Opryshkin@cit.khp.edu.ua

*Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:*

Григоренко І. В., Кондрашов С. І., Опришкін О. С. Формування тестових впливів для першого рівня інформаційно-вимірювальної системи. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». 2023. № 1 (15). С. 19-26. doi:10.20998/2413-4295.2023.01.03.

*Please cite this article as:*

Hryhorenko I., Kondrashov S., Opryshkin O. Formation of test impacts for the first level of the information and measurement system. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2023, no. 1(15), pp. 19-26, doi:10.20998/2413-4295.2023.01.03.

*Надійшла (received) 12.01.2023*

*Прийнята (accepted) 08.03.2023*