

МОДЕЛЬ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ ТА ОЦІНКИ РІВНЯ ЯКОСТІ ПІДГОТОВКИ МЕТАЛОВИРОБІВ ДО ГАЛЬВАНІЧНОГО ПОКРИТТЯ НА БАЗІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Д.т.н. Л.І. Нефьодов, к.т.н. Н.Ю. Філь, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Розроблено моделі експертної системи і оцінки рівня якості підготовки металовиробів для електролітичного покриття, яка реалізується у вигляді системи нечіткого виводу і дозволяє оцінити якість підготовки металовиробів на основі суб'єктивних оцінок експерта.

Разработаны модели экспертной системы и оценки уровня качества подготовки металлоизделий для электролитического покрытия, которая реализуется в виде системы нечеткого вывода и позволяет оценить качество подготовки металлоизделий на основе субъективных оценок эксперта.

An expert system for the quality assessment of preparing metal products for an electrolytic coating has been developed, which is realized in the form of the fuzzy inference system and allows assessing the quality of preparation of metal products based on the expert's subjective assessments.

Ключові слова: якість, нечітка логіка, дефект, електролітичне покриття

Постановка проблеми

Метал є основою розвитку промисловості України. Велика частина металовиробів експлуатується в умовах агресивних середовищ: забрудненої промисловими викидами атмосфери, води та ґрунту, періодично піддаючись впливу атмосферних опадів і зміни температури навколишнього середовища. Масштаби збитків через корозійного руйнування металевих виробів надзвичайно великі. Для боротьби з корозією зазвичай використовуються різні захисні покриття. Гальванічне покриття є одним із кращих за механічними властивостями, чистоті, корозійної стійкості та економічності [1, 2].

Гальванічні покриття знайшли широке розповсюдження в машинобудуванні. На більшій частині підприємств цього профілю є гальванічні ділянки, де готові деталі та вироби проходять заключну обробку. Якість гальванічного покриття дуже сильно впливає на якість готових виробів, їх довговічність й експлуатаційні характеристики [2].

Основними характеристиками якості гальванопокриття є рівномірність розподілу (по товщині) покриття по поверхні виробу, мікротвердість покриття, пористість, міцність зчеплення покриття з матеріалом основи, декоративний зовнішній вигляд й деякі інші специфічні показники. Придатність покриття до експлуатації часто визначається не одним показником, а сукупністю кількох [2].

У той же час якість гальванічного покриття залежить від якості підготовки металовиробів. [3].

Таким чином, задача підвищення якості підготовки металовиробів для гальванічного покриття залишається актуальною науковою задачею, що має важливе практичне значення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Гальванічні покриття отримали досить широке поширення при виробництві та ремонті автомобільної техніки. Якість гальванічного покриття є одним з факторів, що визначають довговічність і надійність роботи деталей автомобілів. Оцінка якості отриманого гальванопокриття є дуже актуальним завданням, що вимагає системного підходу і постійного контролю [4].

Вибір процесу підготовки залежить від призначення покриття і від вимог до чистоти обробки по ГОСТ 2789-59 [5].

В роботі [6] розглянуто значення підготовки поверхні деталей для якісного покриття. Основними операціями, що визначають якість гальванічних покриттів, є операції, пов'язані з підготовкою поверхні деталей до покриття. Встановлено, що до 70% всього браку покриттів так чи інакше пов'язане з поганою якістю підготовки деталей. Тому високу якість покриттів можливо отримати тільки за умови точного виконання операцій підготовки та дотриманні вимог до підготовки деталей до гальванічного покриття.

В роботі [7] визначено, що попередня підготовка поверхні деталей до гальванічного осадження покриттів – процес, який значною мірою визначає якість одержуваного шару і його міцність зчеплення з основою. Існує кілька видів попередньої підготовки поверхні до гальванічного осадження, кожен з яких має свої особливості, що визначають вибір того чи іншого способу обробки.

Задача вибору металу гальванічного покриття з точки зору економічних, фізико-механічних, технологічних і екологічних критеріїв розглянута в роботі [8]. Запропоновано критерії порівняння і вид ієрархії порівняння варіантів покриття кріпильного виробу. За допомогою методу аналізу ієрархій проведена оцінка альтернатив гальванічного покриття виробів.

Таким чином, висока якість гальванічного покриття виробів можливо тільки за умови точного виконання операцій підготовки і дотриманні всіх вимог, а задача оцінки якості підготовки виробів до гальванічного покриття є актуальною.

Формулювання мети і постановка задач

Мета дослідження – підвищення якості підготовки металовиробів для гальванопокриття за рахунок розробки експертної системи визначення рівня якості підготовки металовиробів до гальванічного покриття на базі нечіткої логіки.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні задачі:

- провести аналіз проблеми оцінки якості підготовки металовиробів для гальванопокриття;
- розробити структурну модель експертної системи оцінки якості підготовки металовиробів для гальванопокриття в умовах нечіткої інформації;
- визначити вхідні, вихідні лінгвістичні змінні, їх терми, сформувавши базу правил систем нечіткого виводу;
- побудувати моделі для функцій приналежності;
- розробити метод визначення оцінки якості підготовки металовиробів для гальванопокриття.
- привести приклади використання розробленого методу оцінки якості підготовки металовиробів для гальванопокриття

Методи вирішення поставленої задачі

Експертні системи являють собою інтелектуальні програмні засоби, які, внаслідок інтерактивної взаємодії з користувачем, здатні отримувати, акумулювати та коригувати знання у певній предметній області, виводити нові знання, розв'язувати на основі цих знань практичні задачі та пояснювати спосіб їх розв'язання [9].

Основними відмінними ознаками експертних систем є: розв'язання складно формалізованих практично важливих задач у певній предметній області; наявність спеціальних експертних знань в даній проблемній області; використання для розв'язання задач підходів та методів, які застосовує людина-експерт в реальних ситуаціях; наявність можливості пояснення шляху отримання рішення; застосування методів та моделей штучного інтелекту для розв'язання задач.

Процес підготовки металовиробів для гальванічного покриття характеризується великою кількістю чинників невизначеності. Неповнота та неточність інформації можуть полягати в принциповій неможливості повного збору та обліку інформації про металовиріб, що аналізується, та/або його поверхні, деякою недостовірністю та недостатністю вхідної інформації [9].

Крім того візуальний контроль якості підготовки металовиробів для гальванічного покриття в значній мірі залежить від того, наскільки об'єктивно та кваліфіковано проведені обстеження експертом. Отже, можна говорити про наявність «суб'єктивного» людського фактора в задачах визначення якості підготовки металовиробів для гальванічного покриття [10].

На рис. 1 представлено структурну модель експертної системи визначення рівня якості підготовки металовиробів до гальванічного покриття на базі нечіткої логіки.

Таким чином, розроблена структурна модель експертної системи оцінки рівня якості підготовки металовиробів для гальванічного покриття на базі нечіткої логіки.

Розглянемо реалізацію експертної системи визначення рівня якості підготовки металовиробів до гальванічного покриття на базі пакета Fuzzy Logic Toolbox в рамках середовища MathLab.

Пакет Fuzzy Logic Toolbox підтримує всі стадії розробки нечітких систем: їх синтез, дослідження, проектування, моделювання, впровадження в режим реального часу. Вбудовані GUI-модулі забезпечують зрозумілу середу, з графічним інтерфейсом. Функції пакета реалізують більшість сучасних нечітких

технологій, включаючи нечіткий логічний вивід, нечітку кластеризацію й адаптивну нейро-нечітку настройку (ANFIS) [11].

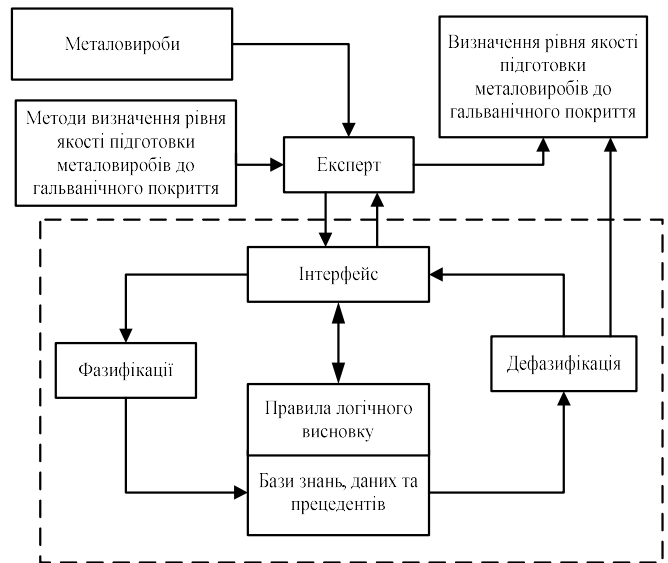


Рис. 1. Структурна модель експертної системи визначення рівня якості підготовки металовиробів до гальванічного покриття на базі нечіткої логіки

Для розробки моделі оцінки якості підготовки металовиробу для гальванічного покриття необхідно: 1) визначити перелік факторів, що впливають на якість підготовки металовиробу для гальванічного покриття; 2) розробити базу нечітких правил < Якщо – тоді >; 3) перевірити роботу нечіткої моделі на навчальній вибірці.

Основними характеристиками якості гальванопокриття є рівномірність розподілу (по товщині) покриття по поверхні виробу, мікротвердість покриття, пористість, міцність зчеплення покриття з матеріалом основи, декоративний Зовнішній вигляд й деякі інші специфічні показники. Придатність покриття до експлуатації часто визначається не одним показником, а сукупністю кількох.

У той же час якість гальванічного покриття залежить від якості підготовки металовиробів. Якість підготовки металовиробів для гальванічного покриття можна визначити різними способами, які можна розділити на наступні основні групи.

Лабораторні дослідження. Такі дослідження передбачають наявність спеціалізованого лабораторного обладнання, здатного відтворити необхідні умови проведення досліджень. До таких досліджень можна віднести ультразвукові та рентгеноскопичні дослідження і так далі.

Вимірвальні способи. Сюди відносять всі види вимірювань, які можливо виконати поза лабораторними умовами. Як правило, це вимірювання шорсткості та мікротвердості.

Візуальний огляд. Більшість критеріїв якості підготовки металовиробу для гальванічного покриття видно, так би мовити, «не озброєним оком» та (або) тактильно відчуються (на дотик). Раковини, тріщини, забрудненість, шорсткості поверхні, наявність сторонніх включень в поверхню металовиробів та так далі.

Візуальний огляд найбільш часто вживається, тому що не ускладнений великою трудомісткістю та тривалістю його проведення в часі.

Основні фактори, що впливають на якість електродіалітичного покриття металовиробів представлені в Табл. 1.

Таблиця 1

Основні фактори, що впливають на рівень якості підготовки до електродіалітичного покриття металовиробів

Позначення	Опис	Рівень варіювання
X ₁	Тест білого рушника. Поверхня протирають білим рушником і перевіряють ступінь його забруднення.	Немає слідів забруднення Слабкі сліди забруднення сильне забруднення
X ₂	Тест на краплю води. Гарне розтікання краплі води на поверхні говорить про якісне знежирювання, збирання в кульку - про погане.	Гарне розтікання краплі води Середнє розтікання краплі води Погане розтікання краплі води
X ₃	Тест на краплю спирту - проводять аналогічно тесту з водою. Замість води беруть розбавлений розчин ізопропанолу.	Гарне розтікання краплі ізопропанолу Середнє розтікання краплі ізопропанолу Погане розтікання краплі ізопропанолу
X ₄	Тест з використанням липкої стрічки. На висушену поверхню наклеюють смужку прозорого скотчу, видаляють і переглядають на аркуші білого паперу.	Скотч прозорий Скотч непрозорий
X ₅	Шорсткість поверхні, Ra	«Прийнятна» - [20; 50] «Неприйнятна» - [0; 20] і [20; 100].

В якості вхідних параметрів системи нечіткого виведення були запропоновані п'ять нечітких лінгвістичних змінних: «Забрудненість», «Знежиреність спиртова» і «Знежиреність водна», «Запиленість» «Шорсткість», а в якості вихідних параметрів - нечітка лінгвістична змінна «Оцінка рівня якості підготовки» (рис. 2).

Розглянемо процедуру побудови моделі оцінки рівня якості підготовки металовиробу до гальванічного покриття на базі нечіткої логіки.

Крок 1. Процедура фазифікації: визначаються ступені істинності, тобто значення функцій приналежності для лівих частин кожного правила. Для бази правил з m правилами позначимо ступеня істинності як $A_{ik}(x_k)$, ($i = 1, m; k = 1, n$).

Крок 2. Нечіткий вивід. Спочатку визначаються рівні «відсікання» для лівої частини кожного з правил.

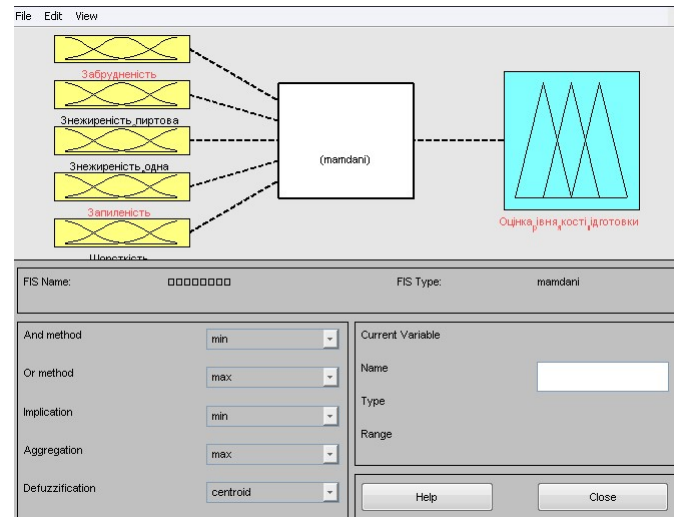


Рис.2. Головне вікно нечіткого логічного виводу

Крок 3. Далі знаходяться «усічені» функції приналежності.

Крок 4. Композиція, або об'єднання, отриманих усічених функцій, для чого використовується максимальна композиція нечітких множин.

Крок 5. Дефазифікація, або приведення до чіткості.

Відповідно до фізичної природи параметрів металовиробів використовувалися трикутні функції приналежності

Як терм-множини лінгвістичної змінної (ЛЗ) «Забрудненість» було використано множина $T_1 = \{\text{«Немає забруднень» «Слабка забрудненість», «Сильна забрудненість»}\}$. При цьому межі терму відповідали: для «Ні забруднень» - [0; 0,1], для «Слабке забруднення» - [0,1; 0,3], для «Сильне забруднення» - [0,3; 1], (рис. 3).

Дані значення меж прийняті за результатами огляду нормативно-технічних документів різних країн по оцінюванню якості підготовки металовиробів [1-2].

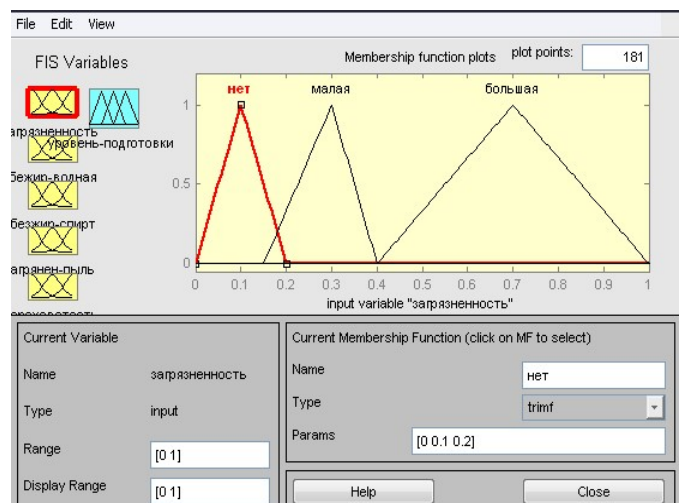


Рис.3. Функції приналежності вхідного параметру «Забрудненість»

Як терм-множини лінгвістичної змінної «Знежиреність водна» було використано множина $T_2 = \{\text{«Погане розтікання краплі води», «Середнє$

розтікання краплі води», «Гарне розтікання краплі води»). При цьому межі терма відповідали: для «Погане розтікання краплі води» – $[0; 0,1]$, для «Середнє розтікання краплі води» – $[0,1; 0,4]$, для «Гарнє розтікання краплі води» – $[0,4; 1,3]$ (рис. 4).

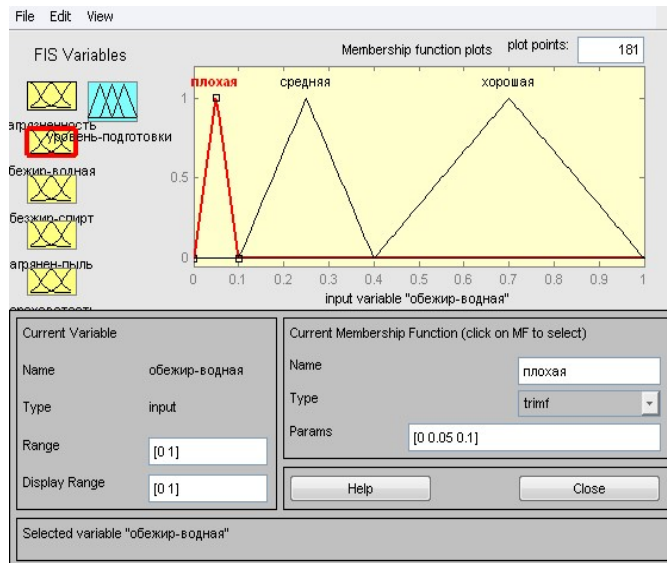


Рис.4. Графік функцій приналежності ЛЗ «Знежиреність водна»

Дані значення кордонів прийняті за результатами огляду нормативно-технічних документів різних країн по оцінюванню якості підготовки металовиробів

Аналогічно приймалися терм-множини лінгвістичної змінної «Знежиреність спиртова» було використано множина $T_3 = \{ \text{«Погане розтікання краплі ізопропанолу», «Середнє розтікання краплі ізопропанолу», «Гарнє розтікання краплі ізопропанолу»} \}$ (рис. 5).

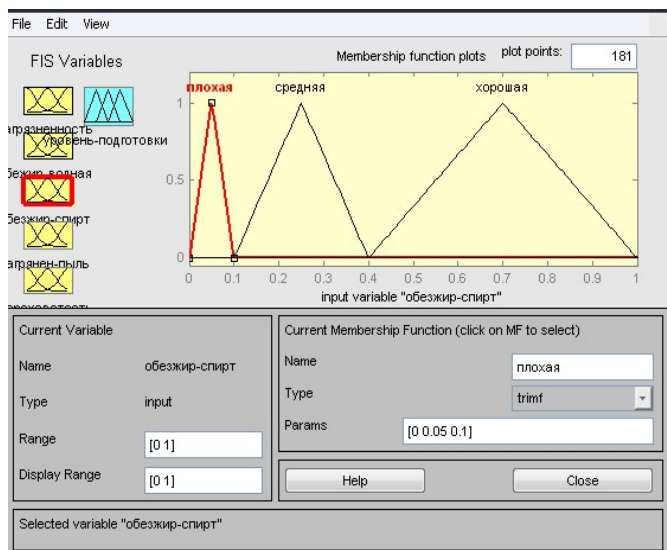


Рис. 5. Графік функцій приналежності ЛЗ «Знежиреність спиртова»

Як терм-множини лінгвістичної змінної «Забрудненість пилом» було використано множина $T_4 = \{ \text{«Скотч прозорий», «Скотч непрозорий»} \}$. При цьому межі терма відповідали: для «Скотч прозорий» – $[0; 0,3]$,

для «Скотч непрозорий» – $[0,3; 1]$. функція приналежності обрана – сигмоподібна (рис. 6).

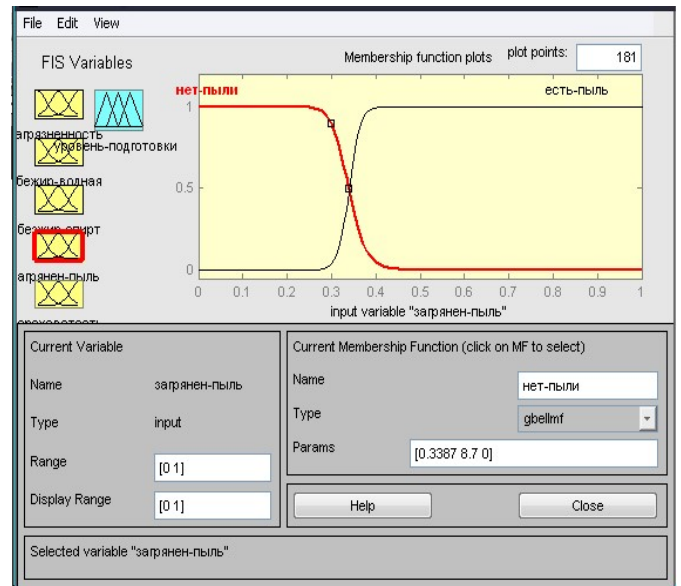


Рис. 6. Графік функцій приналежності ЛЗ «Забрудненість пилом»

Як терм-множини лінгвістичної змінної «Шорсткість» було використано множина $T_1 = \{ \text{«Прийнятна», «Неприйнятна»} \}$. При цьому межі терму відповідали: для «Прийнятна» – $[20; 50]$, для «Неприйнятна» – $[0; 20]$ і $[20; 100]$.

Дані значення кордонів прийняті за результатами огляду нормативно-технічних документів різних країн по оцінюванню якості підготовки металовиробів [1-2].

Як терм-множини вихідної лінгвістичної змінної «категорія» використано множина $T_6 = \{ \text{«1», «2», «3»} \}$. При цьому кожному з термів вихідної змінної відповідають певні межі: для «1» відповідає $[0; 1]$, для «2» відповідає $[1; 2]$, для «3» відповідає $[2; 3]$ (рис. 7).

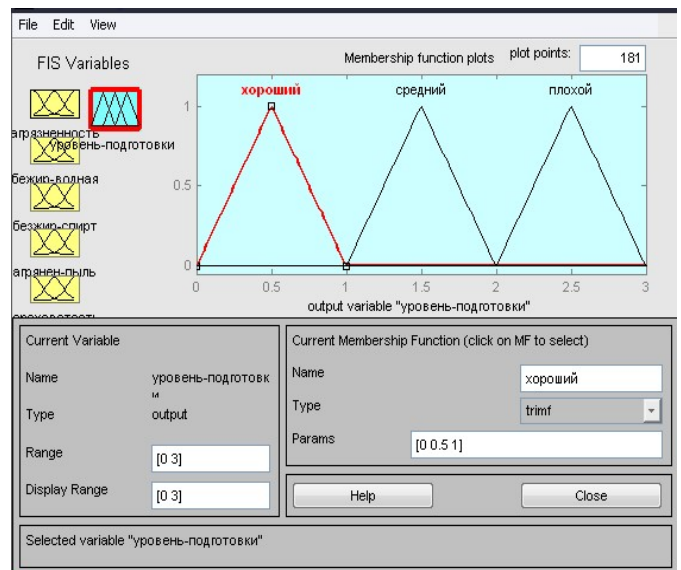


Рис.7. Графік функцій приналежності вихідної ЛЗ «Оцінка рівня якості підготовки»

Далі виконувалося моделювання значень конкурентоспроможності продукції за ціною і якістю, в результаті отримано ряд аналітичних значень і графічне представлення показників конкурентоспроможності (рис. 8).

Після завдання 17-х правил нечіткого виводу видається результат нечіткого виведення (значення вихідної змінної) для конкретних значень вхідних змінних.

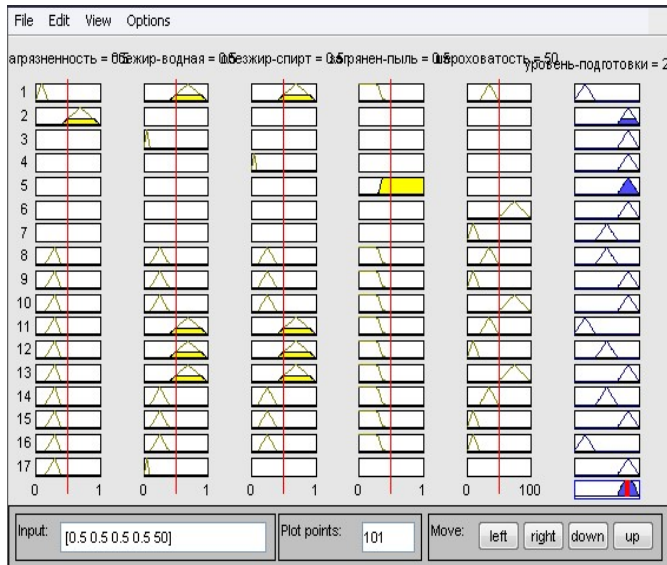


Рис.8. Графічний інтерфейс програми

Для аналізу отриманих результатів за розробленою нечіткою моделлю зручно візуалізувати відповідну поверхню нечіткого виведення (рис. 9).

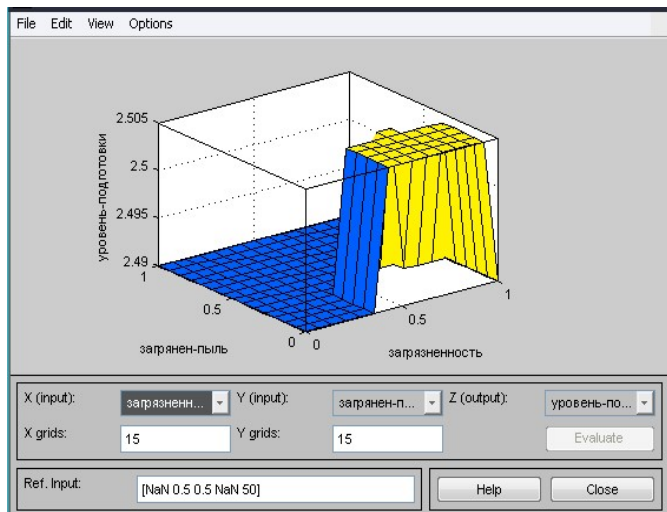


Рис. 9. Візуалізація поверхні нечіткого виведення розглянутої моделі для вхідних змінних «Забрудненість пилом» «Забрудненість»

За замовчуванням для вхідних змінних запропоновані середні значення з інтервалу їх допустимих значень.

Висновки

В роботі розглянуто основні характеристики факторів, що впливають на якість гальванопокриття металовиробів. Проведено аналіз літератури, що

дозволило визначити необхідність розробки експертної системи оцінки якості гальванопокриття металовиробів на основі застосування методів нечіткого логічного управління.

Розроблено структурну модель експертної системи оцінки рівня якості підготовки металовиробів для електролітичного покриття, яка реалізується у вигляді системи нечіткого виводу і дозволяє оцінити якість підготовки металовиробів на основі суб'єктивних оцінок експерта.

Розроблено нечітку модель визначення оцінки рівня якості підготовки металовиробів для гальванопокриття, що включає: якісні вхідні та вихідну лінгвістичні змінні, базу правил систем нечіткого виводу, яка містить 17 правил нечіткого виводу, що дає на відміну від існуючих можливість одночасного врахування багатьох критеріїв оцінки рівня якості підготовки металовиробів для гальванопокриття.

Наведено приклад використання розробленої моделі оцінки рівня якості підготовки металовиробів до гальванопокриття, що довів підвищення рівня якості підготовки металовиробів в порівнянні з існуючими.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Гальванотехника: Справочник / Под ред. А. М. Гинберга, А. Ф. Иванова, Л. Л. Кравченко. М.: Металлургия, 1987. С. 477-480.
2. Гамбург Ю.Д. Гальванические покрытия. Справочник по применению. М.: Техносфера, 2006. 215 с.
3. Контроль качества гальванического покрытия. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://blog.tep-nn.ru/?p=2505>.
4. Захаров Ю.А., Мусатов Г.А. Оценка качества гальванического покрытия деталей автомобилей // Современные научные исследования и инновации. 2015. № 2 URL: web.snauka.ru/issues/2015/02/46872.
5. Значение подготовки поверхности деталей для качества покрытия. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cover74.ru/podgotovka-k-pokrytiyu>
6. Подготовка изделий к гальваническому покрытию [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://est-zink.ru/info/stati/podgotovka-detalej-i-izdelij-k-galvanicheskomu-pokrytiyu.html>
7. Захаров Ю.А., Мусатов Г.А. Предварительная подготовка поверхности деталей машин к гальваническому осаждению покрытий // Современные научные исследования и инновации. 2015. № 2 URL: web.snauka.ru/issues/2015/02/46539.
8. Соловьёв Д.С. Решение многокритериальной задачи выбора гальванического покрытия с использованием метода анализа иерархий / Д. С. Соловьёв, И. А. Мукина, Ю. В. Литовка // Вестник АГТУ. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика, 2017. – №1. – С.18-27.
9. Экспертные системы. Принципы работы и примеры: Пер. с англ./А.Брукинг, П.Джонс, Ф.Кокс и др.; Под ред. Р. Форсайта. - М.: Радио и связь, 1987. - 224 с
10. Філь Н.Ю. Експертна система оцінки якості підготовки металовиробів для електролітичного покриття / Н.Ю. Філь, Ю.О. Чепіжний, В.В. Кочетков // Матеріали V Міжнародної науково-технічної Internet-конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами», 22 листопада 2018 р. [Електронний ресурс] – К: НУХТ, 2018 р. – 295 с. – Режим доступу: <http://nuft.edu.ua/page/view/konferentsii>.
11. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.