

бы. Разработана конструкция лабораторных магнитных весов, реализующих пондеромоторный метод контроля.

### Список литературы

1. Ніколаєнко К.В., Олійник Т.А., Прилипенко В.Д. Магнітні та електричні методи збагачення корисних копалин. – К.:Фенікс, 2011. – 368с. (С. 56-58).
2. Марюта А.Н. Контроль качества минерального сырья / А.Н. Марюта, П.К. Младецкий, П.А. Новицкий. – К.: Техніка, 1976. – 220 с.
3. Стадкевич А.А., Харитоненко А.Ф., Ключко А.Ф. Магнитные весы для определения содержания магнитного железа в ферромагнитных материалах – «Горный журнал», №9, 1970.
4. А.с. 351183 СССР, МКЛ<sup>3</sup>. G 01g 33/12. Устройство для определения содержания ферромагнитных соединений железа в рудах / С. К. Гребнев, А. И. Кистина, Е. С. Полешко, Л. Г. Притеева, А. П. Шадрина, В. П. Герашенко, Н. Л. Калининченко, П. А. Тащиенко, А. Е. Бухин, П. И. Папушев, А. В. Иванова, Е. П. Березанский (СССР). - №1607885/26-25; заявл. 12.01.1971; опубл. 13.09.1972, Бюл. № 27.
5. Новохатко В.И., Кондратец В.А., Гуленко Т.И. Измерение содержания магнитного железа в продуктах обогащения в поле электромагнитной катушки. – в сб.: «Горная электромеханика и автоматика». Вып. 20. Харьков. Изд-во ХГУ, 1972.
6. Кучер В.Г. Автоматизация процессов опробования пульповых продуктов на обогатительных фабриках. Бюллетень научно-технической информации Черная металлургия. — М., № 9, 1989. – С. 2-18.
7. Кучер В.Г. Автоматизированный пробоотбор на обогатительных фабриках черной металлургии / Кучер В.Г., Суртаев В.М. - «АСУТП в черной металлургии». М., «Металлургия», 1982. С.20-24.
8. Кучер В.Г. Автоматизированный пробоотбор на обогатительных фабриках черной металлургии / Кучер В.Г, Дорогая Л.Б., Кучма Н.И. и др. Автоматизированный пробоотбор продуктов обогащения. Бюл. ЦНИИЧМ №7(1035), 1987, с.39-40.
9. Контроль содержания магнитного железа в пульповых продуктах рудообогатительной фабрики / [Азарян А.А., Кучер В.Г., Цыбулевский Ю.Е., Швец Д.В.]. – INTERNATIONAL ACADEMY JOURNAL «Web of Scholar», Киев, №1(10), 2017, С.9-12.
- 10 Марюта А. Н., Качан Ю. Г., Бунько В. А. Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик. – М.:Недра, 1983 – 277с.

Рукопись поступила в редакцию 15.03.17.

УДК 621.01: 681.3: 658.5

А.В. ПІКІЛЬНЯК, канд. техн. наук., доц., Криворізький національний університет

## РОЗРОБКА ЗАСОБІВ ВИЗНАЧЕННЯ АДГЕЗІЙНОЇ МІЦНОСТІ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

**Метою** роботи є розробка засобів оперативної атестації адгезійної міцності тонкоплівкових покриттів на основі інформаційних технологій.

У роботі представлено дослідження **методів** отримання тонкоплівкових покриттів, аналіз міжнародних та вітчизняних стандартів вимірювання механічних властивостей цих покриттів. Проаналізовані основні властивості тонкоплівкових покриттів, які впливають на експлуатаційні характеристики виробів в цілому і підлягають атестації, до яких: товщина, адгезія, фізико-механічні характеристики, суцільність, параметри зносу, параметри шорсткості, енергія адгезійної взаємодії.

Елементом **наукової новизни** є розробка нового підходу до визначення міцності зчеплення тонкого плівкового покриття з використанням нечіткої логіки. Цей підхід в основному зосереджений на нано і мікро тонких плівках з використанням встановлених міжнародних стандартів для оцінки адгезійної міцності. З метою кількісної оцінки адгезійних характеристик покриття серед багатьох методів використовується скреч-тестування. Міжнародні стандарти використані в якості моделей/шаблонів для налаштування нечіткої експертної системи, яка може бути використана для визначення якості практичної міцності адгезії. Представлені результати імітаційного моделювання в пакеті Matlab. Крім того, в цьому процесі використані методи штучного інтелекту, реалізовані в наборах інструментів Matlab. Враховується вплив різних параметрів покриття на адгезійну міцність. В даному дослідженні вихід (якість адгезії) був пов'язаний із вхідними змінними: критична сила, товщина покриття, величина прикладеного навантаження, швидкість зсуву, шорсткість поверхні, коефіцієнт тертя, радіус, знос і пошкодження наконечника. Кожен вхідний і вихідний параметр фазифіковано чотирма лінгвістичними змінними з використанням трикутної функції приналежності. Для визначення величини адгезії використовується 24 нечітких правила. **Практична цінність** роботи полягає у вирішенні двох основних проблем, які зустрічаються в процесі нанесення покриттів: економія та оптимізація.

**Результатом досліджень** є розробка **методу** визначення трибологічних властивостей (адгезії) на основі **методу** дряпання поверхні з використанням нечіткої логіки.

**Ключові слова:** тонкі плівки, покриття, машинобудування, адгезія, статистичне спостереження, імітаційне моделювання, інформаційні технології.

**Проблема і її зв'язок з практичними задачами.** У процесах підвищення довговічності різних виробів світовою тенденцією є широке використання технологій нанесення покриттів товщиною менше 10 мкм. У багатьох випадках при виготовленні зношуються деталей проявляється також тенденція заміни технологій наплавлення на технології напилення, технологій напилення на технології осадження покриттів. Один із сучасних способів модифікацій виробів машинобудування та приладобудування - зменшення геометричних розмірів їх елементів. Багато з них включають в себе тонкоплівкові покриття, характеристики яких можна змінювати, варіюючи їх товщину. За функціональним призначенням такі покриття пов'язані практично з усіма розділами фізики: механікою, магнетизмом, електрикою, оптикою.

Виникнення нового напрямку нанотрибології, яка відноситься до експериментальних і теоретичних досліджень міжфазних процесів, що відбуваються при адгезії, терті, зносу і змашенні поверхонь ковзання тонкими плівками на атомному та молекулярному масштабах і на мікрорівні, і пов'язані з ними методи забезпечили життєздатні засоби вирішення трибологічних проблем на нанорівні [1-3]. У сучасній промисловості, використання нано- й мікротонких шарів є популярним способом вирішення багатьох завдань. Величина адгезії є одним з найбільш важливих механічних властивостей, і ключовим параметром для кожного покриття [4,5]. Основною метою застосування тонкоплівкових покриттів є поліпшення властивостей поверхні матеріалів при збереженні її об'ємних властивостей. Таким чином, сучасні тонкоплівкові покриття можуть протистояти багатьом експлуатаційним видам руйнування (в тому числі, навіть абразивного зносу). Активне використання тонкоплівкових покриттів в якості зносостійких покриттів робить актуальним питання їх атестації.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Розглянемо основні властивості тонкоплівкових покриттів, які впливають на експлуатаційні характеристики виробів в цілому і підлягають атестації. До таких властивостей відносяться: товщина, адгезія, фізико-механічні характеристики, суцільність, параметри зносу, параметри шорсткості, енергія адгезійної взаємодії [6-8]. Дві основні проблеми, які зустрічаються в процесі нанесення покриття є питання економії та оптимізації [9]. Практична міцність адгезії, тобто робота, спрямована на відділення тонкої плівки від підкладки, дуже чутлива до умов вимірювання та оцінки, таких, як швидкість деформації, шорсткість, товщина і т.д. [10].

Існує ряд методів визначення адгезії. Їх можна класифікувати в залежності від переважаючих нормальних або дотичних навантажень, що діють при випробуванні, на межу розділу з підкладкою. Найбільш поширеними методами кількісного визначення величини адгезії є методи вдавнення різними інденторами, прямого відриву плівки від підкладки, а також метод склерометрії (дряпання).

З метою кількісної оцінки адгезійних характеристик покриття серед багатьох методів використовується скреч-тестування (Scratch Test). Даний метод дозволяє визначати навантаження початкового руйнування (утворення тріщин і відколів) покриття, в умовах поздовжнього переміщення індентора при змінному його навантаженні. При даних дослідженнях додатково можливе проведення вимірювань товщини покриття, сканування профілю зони руйнування, визначення глибини впровадження індентора, вимір акустичного сигналу та візуалізація подряпини на скануючому зондовом мікроскопі.

Навантаження появи перших руйнувань покриття ідентифікується по різкій зміні глибини впровадження індентора (його «провалюванні» при попаданні в тріщину або його «спливання» при попаданні на частину покриття, що відкололася). Навантаження, при якому глибина входження індентора в композицію покриття-підкладка перестає плавно рости, вказує на момент руйнування покриття. Момент дряпання плівки визначається мікроскопічно, а також за допомогою ресстрації акустоемісійного сигналу, що з'являється при дряпанні плівок з крихких матеріалів [11]. Метод дряпання є найбільш простим і швидким способом оцінки адгезійних характеристик. Однак, незважаючи на широке його застосування, є труднощі в кількісній оцінці міцності зчеплення.

Як правило, міцність зчеплення характеризують величиною вертикального (критичного) навантаження на вістрі, при якому відбувається дряпання плівки. При випробуванні адгезії

дряпанням утворюється найтонша канавка (в залежності від таких факторів, як твердість матеріалу покриття і підкладки, товщина плівки, вертикальне навантаження на вістрі і від деяких параметрів, пов'язаних з умовами випробувань) може бути отримана в результаті [12]:

пластичного деформування матеріалу покриття без руйнування (пластично зім'ята, видавлені подряпина);

пластичного деформування з подальшим зрізанням найтоншої стружки.

При визначенні адгезії покриттів, отриманих методом дряпання, була обрана методика, наведена в роботі [13]. В основі цієї методики лежить припущення, що зчеплення з підкладкою забезпечує шар покриття, що безпосередньо прилягає до неї. У зв'язку з цим визначаються такі сили при русі індентора через покриття:  $F_{зар}$  - сила, необхідна для переміщення індентора через покриття при такому вертикальному навантаженні на індентор  $P_1$ , коли на сліді від останнього залишається чиста підкладка (наявність залишків покриття  $\leq 5\%$  від площі сліду);  $F_{си}$  - сила, необхідна для переміщення індентора через покриття при такому вертикальному навантаженні  $P_2$ , коли на сліді від індентора чиста підкладка становить менше 5% від площі сліду;  $F_{підк}$  - сила, необхідна для деформації підкладки при вертикальному навантаженні, рівній  $P_1 - P_2$ . При дотриманні цих умов сила зчеплення покриття з підкладкою може бути знайдена з рівняння

$$F_{зч} = F_{зар} - F_{си} - F_{підк} \quad (1)$$

Міцність зчеплення покриття з підкладкою визначається з формули

$$P_{зч} = F_{зч} / s, \quad (2)$$

де  $s$  - площа, що звільняється індентором на підкладці при проходженні по ньому за  $l$  с.

$$s = dl / t, \quad (3)$$

де  $d$  - ширина сліду індентора на підкладці;  $l$  - загальна довжина пересування;  $t$  - час переміщення.

Процедури випробувань скреч-тестуванням описані в національних/міжнародних стандартах [14]. Ці норми розроблені для широкого спектра різних матеріалів покриття. Найбільш важливі стандарти по методу дряпання наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Стандарти для кількісного випробування методом однокочкового дряпання

Стандарт	Призначення
ISO 1071-3	Метод випробування для визначення адгезії та інших режимів механічного руйнування тонкошарових високоякісних технічних керамічних покриттів.
ISO 20502	Метод випробування для визначення адгезії тонкошарових керамічних покриттів. (Високоякісні керамічні покриття, високоякісні технічні керамічні покриття)
ISO N269	Метод випробування для визначення адгезії тонких керамічних покриттів
ISO 1518	Метод випробування адгезії фарб і лаків
ASTM C1624	Метод випробування на міцність адгезії і механічних режимів руйнування керамічних покриттів.
ASTM D7027-05	Метод випробувань для оцінки стійкості до подряпин полімерних покриттів і пластмас.
ASTM D7187	Метод випробування для вимірювання механічних аспектів поведінки подряпин лакофарбових покриттів при нанодряпанні
JIS R 3255	Метод випробування для визначення адгезії тонких плівок на скляній підкладці

Використання даного методу можливо тільки для порівняльної оцінки адгезійних властивостей однакових за хімічним складом покриттів рівної товщини, що наносяться одним і тим же технологічним процесом при використанні одного і того ж матеріалу і виду зразка з однаковими фізико-механічними властивостями і параметрами шорсткості, а також за умови ідентичності умов експерименту.

У табл. 2 подано найбільш важливі умови для оцінки відповідно до цих стандартів. Стандарти призначені в основному для макро-скретч-тестерів, так як вони зазвичай використовуються для вимірювання нано- й мікрошарів.

Таблиця 2

Умови вимірювання згідно з відповідними міжнародними стандартами, призначеними для випробування нано й мікроплівок

	ISO 1071-3	ASTM D7187	ASTM C1624
Матеріал покриття	Керамічне покриття	Керамічне покриття	Лако-фарбове покриття
Товщина плівки	до 20 мкм	до 500 нм	0,1-30 мкм
Величина прикладеного навантаження	100 Н/хв	5-200 мН/хв	10 Н/хв

(скретч тест)			
Швидкість зміщення (скретч тест)	10 мм/хв	0,5-10 мм/хв	10 мм/хв
Геометрія наконечника	Роквел С	Сферична 1-100 мкм	Роквел С
Шорсткість поверхні	Ra<0,5 мкм	Ra<0,8 мкм	Ra<0,8 мкм

**Мета досліджень.** Метою роботи є розробка засобів оперативної атестації адгезійної міцності тонкоплівкових покриттів на основі інформаційних технологій.

**Викладення матеріалу та результати.** В якості ефективного засобу для визначення міцності адгезії нано і мікроплівки може бути використаний метод формування міркувань, заснованих на нечіткій логіці.

Існуючі міжнародні стандарти і знання адгезії можуть бути використані в якості моделей/шаблонів для налаштування нечіткої експертної системи, яка може бути використана для визначення якості практичної міцності адгезії. Крім того, методи штучного інтелекту, реалізовані в наборах інструментів Matlab [15] можуть бути використані в цьому процесі.

Метою нечіткого управління є надання впливу на поведінку системи шляхом зміни входів або виходів в цій системі відповідно до правила або набору правил, моделі роботи системи [16].

Нечітка експертна система використовує нечітку *if-then* базу правил складається з безлічі інтуїтивних нечітких правил, які інтерпретують вхідний сигнал і виробляють чіткий висновок. В даному дослідженні вихід (якість адгезії) в значній мірі залежить від вхідних змінних, таких як: критична сила, товщина покриття, величина прикладеного навантаження, швидкість зсуву, шорсткість поверхні, коефіцієнт тертя, радіус, знос і пошкодження наконечника.

На рис. 1. показана структура системи нечіткого логічного висновку, створена в Matlab за допомогою Fuzzy Logic Toolbox [17].

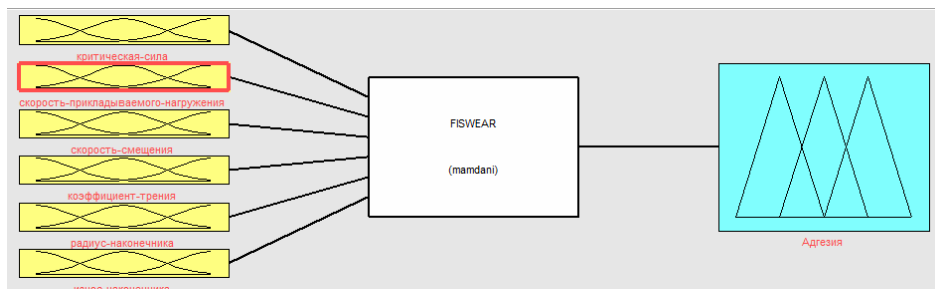


Рис. 1. Структура нечіткого виведення системи в Fuzzy Logic toolbox

У цьому дослідженні ми фазифікували кожен вхідний і вихідний параметр чотирма лінгвістичними змінними з використанням трикутної функції приналежності.

Функції приналежності задавалися, як показано на рис. 2.

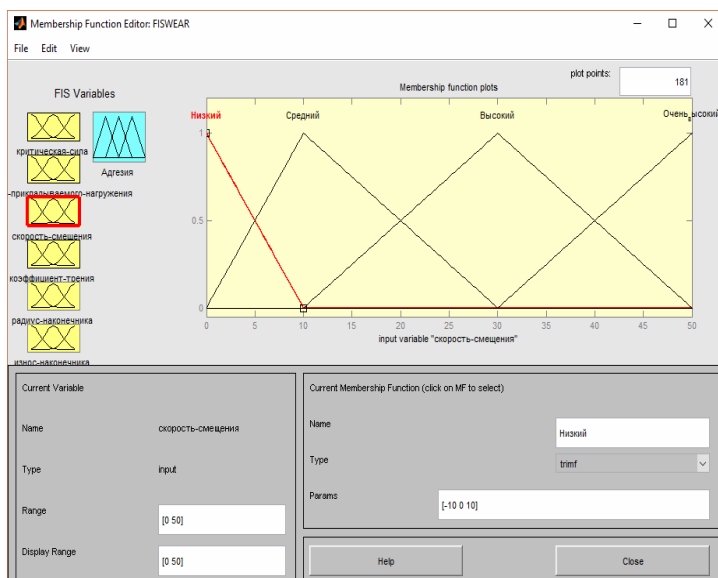


Рис. 2. Функції приналежності для вхідних параметрів процесу

Для визначення величини адгезії використовується 24 нечітких правила.

Як приклад розглянемо правило №12.

У цьому правилі, якщо "Швидкість зміщення" має значення "Дуже висока", то "Адгезія" має значення "Відмінний".

Результати вікна Surface Viewer показані на рис. 3, який демонструє співвідношення між вхідними змінними «критична сила», «величина прикладеного навантаження» і вихідною величиною «адгезія».

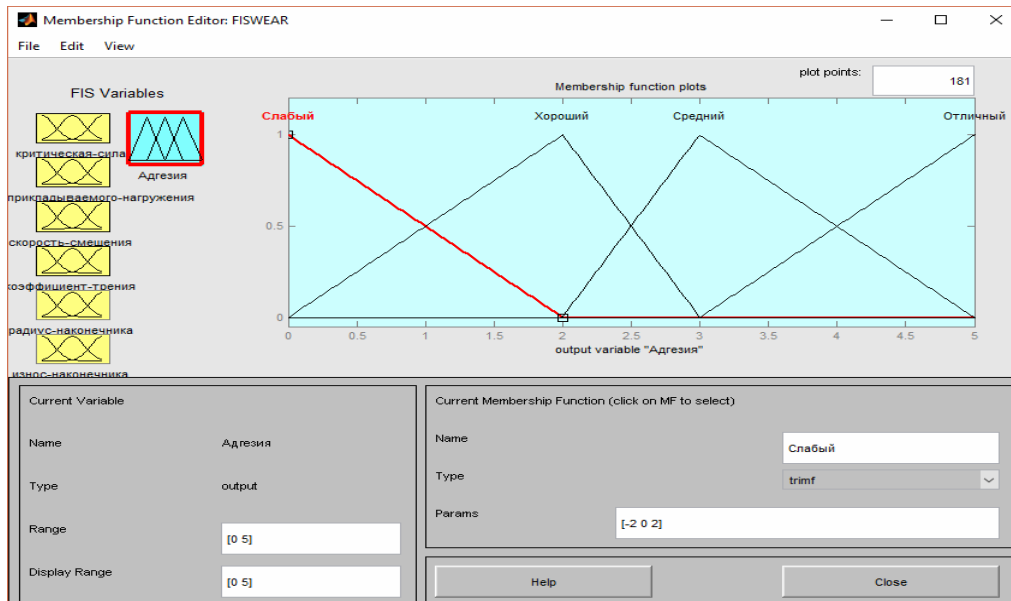


Рис. 3. Функції приналежності для виходу системи

Нечіткі правила управління наведено на рис. 4.

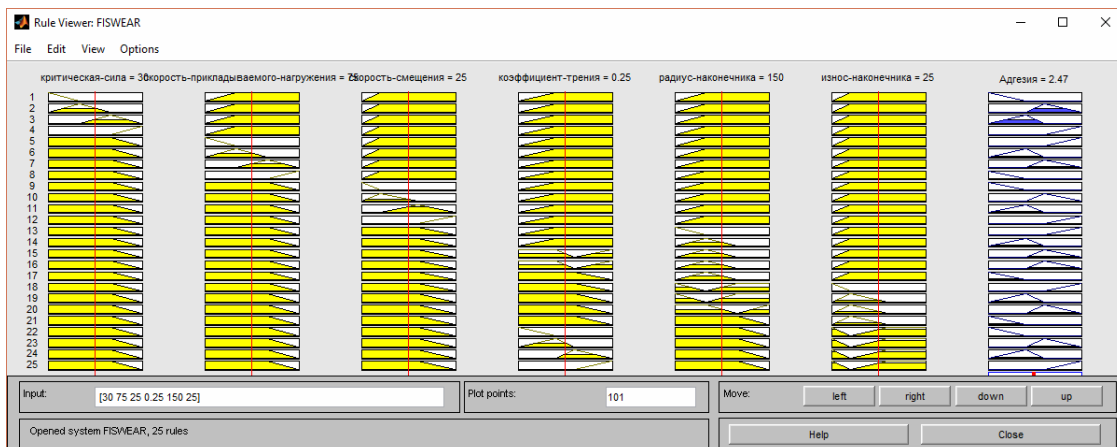


Рис. 4. Нечіткі правила системи

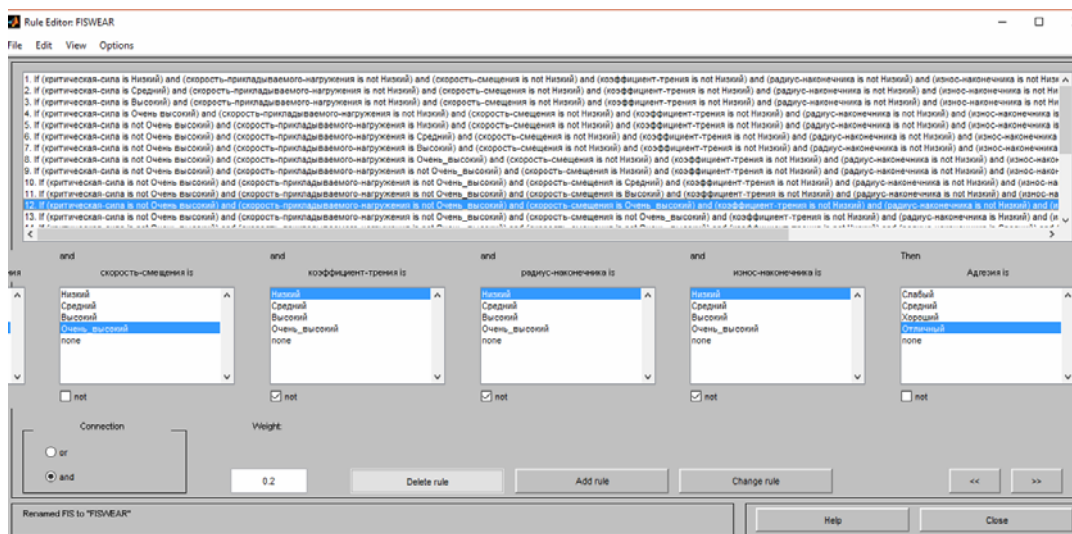


Рис. 5. Налаштування нечітких правил системи

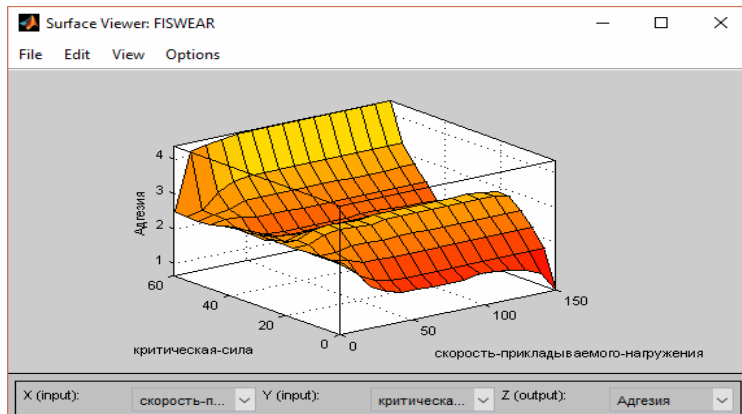
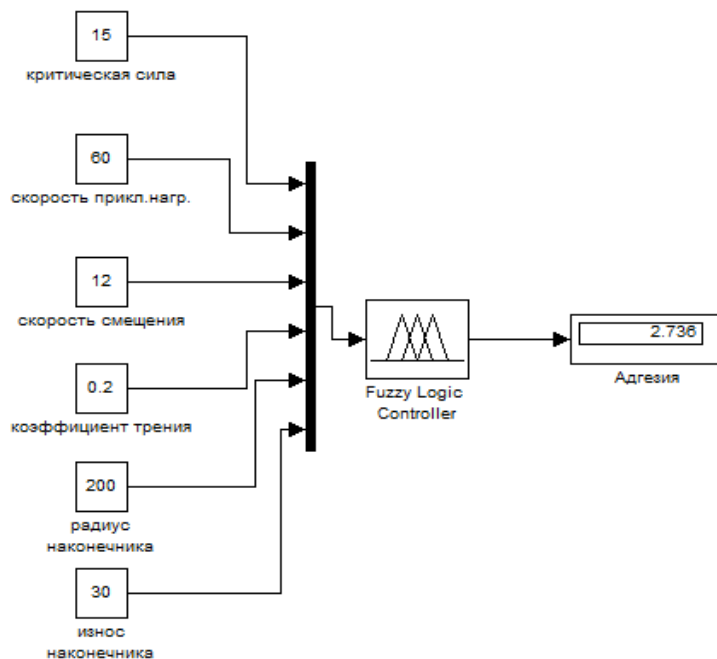


Рис. 6. Функції приналежності для виходу системи

Як видно з рис. 6, якщо маємо чисельне значення "критичної сили" і "величини прикладеного навантаження" в масштабі 0-60 і 0-150 відповідно, то ми можемо отримати значення "Адгезія" в діапазоні 0-5.

Результати моделювання для різних наборів вхідних параметрів наведені на рис. 7.

Рис. 7. Результати моделювання



**Висновок.** У роботі вирішено актуальне науково-практичне завдання оцінки адгезійної міцності нано- й мікротонких плівок з використанням нечіткої логіки.

Після розгляду різних методів отримання тонких плівок зроблено висновок, що немає оптимального вибору способу отримання тонких плівок. Вибір способу залежить від типу необхідної плівки, від обмежень у виборі підкладок і часто, особливо в разі багаторазового осадження, від загальної сумісності різних процесів, що протікають при застосуванні цього способу.

Запропоновано новий підхід для визначення міцності зчеплення тонкого плівкового покриття з ви-

користанням нечіткої логіки. Цей підхід в основному зосереджений на нано і мікро тонких плівках з використанням встановлених міжнародних стандартів для оцінки адгезійної міцності. Враховується вплив різних параметрів покриття на адгезійну міцність. Представлені результати імітаційного моделювання в пакеті Matlab.

Крім того, напрямком подальших досліджень буде використання адаптивної системи нейро-нечіткого виводу (ANFIS), яка завдяки використанню даних, що навчаються зможе показати кращі результати.

#### Список літератури

1. **Nikhil S., Bharat B.** Nanoscale friction and wear maps / Phil. Trans. R. Soc. A. – №366. –2008. –P.1405–1424.
2. **Bhushanb B.** A handbook of micro/nanotribology, 2nd edn. Boca Raton / FL: CRC Press. – 1999. –777 p.
3. **Bhushanb B.** Principles and applications of tribology / New York: Wiley. – 1999. –1040 p.
4. EN 1071-3, Advanced Technical Ceramics – Method of Test for Ceramic Coatings - Part 3: Determination of Adhesion and other Mechanical Failure Modes by a Scratch Test. Brussels: International Organization for Standardization. – 2006.
5. International Standard ISO 20502: Fine Ceramics (Advanced Ceramics, Advanced Technical Ceramics) - Determination of Adhesion of Ceramic Coatings by Scratch Testing. Geneva: International Organization for Standardization. – 2005.
6. **Тополянський П.А.** Властивості нано покриття, що наноситься при фінішному плазмовому зміцненні / **П.А. Тополянський, Н.А. Соснин, С.А. Ермаков, А.П. Тополянський** // Верстатний парк. – №11. – 2010. – С. 15-23.
7. **Тополянський П.А.** Визначення оптимальної товщини покриття при фінішному плазмовому зміцненні / **П.А. Тополянський, А.П. Тополянський, Н.А. Соснин, С.А. Ермаков** // Верстатний парк. – №7 (84). – 2011. – С. 27-30.
8. **Тополянський П.А.** Інженерна трибологія покриттів. Міжнародний технологічний форум «Інновації. Технології. Виробництво» / **П.А. Тополянський, А.П. Тополянський** // Рибінськ: РГАТУ ім. П.А. Солов'єва. – 2014. – С. 38-39
9. **Abdul Syukor Mohamad Jaya, Abdul Samad Hasan Basari, Siti Zaiton Mohd Hashim, Habibollah Haron,**

Muhd. Razali Muhamad and Md. Nizam Abd. Rahman. Application of ANFIS in Predicting of TiAlN Coatings Hardness", Australian Journal of Basic and Applied Sciences. –5(9). – 2011. –P.1647-1657.

10. Socha V. The evaluation of the practical adhesion strength of biocompatible thin films by fuzzy logic expert system and international standards / V. Socha, P. Kutliek, S. Viteckova // Journal of electrical engineering. – Vol. 64. – № 6. – 2013. – P.354–360.

11. Ichimura H., Ishii Y. Effects of indenter radius on the critical load in scratch testing // Surf. and Coat. Techn. – 2003. – Vol. 165. – P. 1-7.

12. Маслов Е.Н. Теоретичні основи процесу дряпання металів. – М.: Наука, 1968. – С. 24-44.

13. Тополянский П.А., Робозерова Н.А., Тополянский А.П., Ермаков С.А. Аттестация тонкопленочных покрытий на основе международных стандартов. Технологии упрочнения, нанесения покрытий и ремонта: теория и практика: Материалы 17-й Международной научно-практической конференции: СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. – С. 380-387.

14. ASTM International, Standard ASTM D7187: Test Method for Measuring Mechanistic Aspects of Scratch/Mar Behaviour of Paint Coatings by a Nano scratching, Conshohocken, 2005.

15. Sivanandam S., Sumathi S., Deepa S. Introduction to Fuzzy Logic Using MATLAB. – Berlin:Springer. – 2010.

16. Nabil Ibrahim El Sawalhi. Modelling the Parametric Construction Project Cost Estimate using Fuzzy Logic / El Sawalhi Nabil Ibrahim // International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering Website. –Vol. 2. – №4. –2012. – P. 634-636.

17. Fuzzy Logic Toolbox: User's Guide MathWorks - Режим доступу: [www.mathworks.com/help/pdf\\_doc/fuzzy/fuzzy.pdf](http://www.mathworks.com/help/pdf_doc/fuzzy/fuzzy.pdf)

Рукопис подано до редакції 08.02.17

УДК 666. 97: 620.169

Л.М. КОВЕРНІЧЕНКО, канд. техн. наук, доц., Криворізький національний університет

## ДОВГОВІЧНІСТЬ І ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕНЯ КОРОЗІЇ ЗАЛІЗОБЕТОНУ

**Мета.** Метою являється дослідження руйнування бетону в конструкціях при їх експлуатації під впливом багатьох хімічних і фізико-механічних факторів. До них відносяться неоднорідність бетону, підвищені напруги в матеріалі різного походження, що призводять до мікророзривів в матеріалі, попереми́нне зволоження і висушування, періодичні заморожування і відтавання, різкі перепади температур, вплив солей і кислот, вилугоування, порушення контактів між цементним каменем і заповнювачами, корозія сталеві арматури, руйнування заповнювачів під впливом лугів цементу. Складність вивчення процесів і факторів, що обумовлюють руйнування бетону та залізобетону, пояснюється тим, що в залежності від умов експлуатації і терміну служби конструкцій одночасно діє дуже багато чинників, що призводять до змін структури і властивостей матеріалів. Для більшості конструкцій, що стикаються з повітрям, карбонізація є характерним процесом, який послаблює захисні властивості бетону. Карбонізацію бетону може викликати не тільки вуглекислий газ, наявний у повітрі, але й інші кислі гази, що містяться в промисловій атмосфері. У процесі карбонізації вуглекислий газ повітря проникає в пори і капіляри бетону, розчиняється в поровій рідині і реагує з гідроалюмінатом окису кальцію, утворюючи слабозчинний карбонат кальцію. Карбонізація знижує лужність яка міститься в бетонній вологі, що сприяє зниженню так званої пасивуючої (захисної) дії від лужних середовищ і корозії арматури в бетоні.

**Методи дослідження.** Для визначення ступеня корозійного руйнування бетону (ступеня карбонізації, складу новоутворень, структурних порушень бетону) використовуються фізико-хімічні методи. Дослідження хімічного складу новоутворень, що виникли в бетоні під дією агресивного середовища, проводиться за допомогою диференційно-термічного і рентгено структурного методів, які виконуються в лабораторних умовах на зразках, відібраних з експлуатованих конструкцій.

**Наукова новизна.** Розв'язання даної задачі складає актуальність роботи. Для експлуатованих конструкцій дуже важко визначити, скільки і яких хімічних елементів залишилося в поверхневому шарі і чи здатні вони далі продовжувати свою руйнівну дію. Оцінюючи небезпеку корозії бетонних і залізобетонних конструкцій, необхідно знати характеристики бетону: його щільність, пористість кількість пустот та ін.

**Практична значимість.** Визначення глибини карбонізації бетону визначають по зміні величини водневого показника рН. У разі якщо бетон сухий, змочують поверхню відколу чистою водою, якої повинно бути стільки, щоб на поверхні бетону не утворилася видима плівка вологи. Надлишок води видаляють чистим фільтрувальним папером. Вологий і повітряно-сухий бетон зволоження не вимагає. На скол бетону за допомогою крапельниці, або піпетки наносять 0,1% -ий розчин фенолфталеїну в етиловому спирті. При зміні рН від 8,3 до 14 забарвлення індикатора змінюється від безбарвного до яскраво-малинового.

**Результати.** Таким чином, при виявленні ділянок конструкцій з підвищеним корозійним зносом, пов'язаним з місцевим (зосередженим) впливом агресивних чинників, рекомендується в першу чергу звертати увагу на наступні елементи і вузли конструкцій: опорні вузли кровляних і підкровляних ферм, поблизу яких розташовані водоприймальні воронки внутрішнього водостоку; верхні пояси ферм у вузлах приєднання до них аераційних ліхтарів, стійок вітробойних щитів; верхні пояси підкровляних ферм, уздовж яких розташовані ендови покрівель і т.д.

**Ключові слова.** Бетон його довговічність, визначення карбонізації, руйнування арматури.