

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Торської Роксани Володимирівни на тему: "Математичне моделювання розвитку пітингоподібних дефектів методом коміркових автоматів", подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

Значне розширення сфери застосування неоднорідних конструкцій, складених з металів та їх сплавів (високовольтних ліній електропередач, нафтогазопроводів, листів теплообмінників, обшивки літаків та інших транспортних засобів), у діяльності суспільства, забезпечення збереження їх цілісності потребує дослідження та прогнозування найпоширеніших видів ушкодження та руйнування їх поверхонь. Це спричинює постійне удосконалення існуючих та розробку нових математичних моделей та методів прогнозу пітингової корозії матеріалів. Порівняльна характеристика моделей, побудованих з використанням методів скінченних елементів, Монте-Карло та коміркових автоматів, встановила, що найточніші результати при відтворенні процесів корозії та форми профілю внутрішньої поверхні дефектів забезпечує саме симуляція останнім з вказаних методів. Варто однак зазначити, що отримана на даний час методом коміркових автоматів інформація про форму рельєфу дна дефектів не є точною, оскільки базується на спрощеній моделі, у якій не враховано один з етапів розвитку пітингоподібних дефектів, зокрема, імовірність репасивації. Водночас дедалі стрімкіше зростання потужностей обчислювальної техніки дозволяє розглядати складніші алгоритми, які з одного боку враховували б якомога більшу кількість суттєвих особливостей поведінки об'єктів моделювання, а з іншого дозволяли б отримати надійний та точний кінцевий розв'язок, суттєво не збільшуючи при цьому часовий інтервал для його знаходження.

Тому **актуальність дисертаційної роботи** Торської Р.В., присвяченої розробці нових математичних моделей розвитку пітингоподібних дефектів методом коміркових автоматів на металевих поверхнях, не викликає сумніву, оскільки їх використання у задачах технічної діагностики матеріалів та конструкцій має важливе практичне значення для підвищення ефективності відтворення процесу поверхневої корозії.

Підтвердженням актуальності теми дисертаційної роботи є і той факт, що вона виконана у відповідності з планами держбюджетних науково-дослідних робіт Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України.

З аналізу тексту дисертації випливає, що сформульовані автором висновки достатньо обґрунтовані, оскільки при розробці алгоритмів розв'язання поставленої задачі були коректно використані фундаментальні співвідношення теорій імовірності та розпізнавання, а також методів статистичного моделювання для перевірки адекватності моделі. Глибокий аналіз об'єкту дослідження, математичних моделей процесів розвитку пітингоподібних пошкоджень на металевих поверхнях та особливостей їх застосування у реальних задачах став вагомою передумовою розробки нових модифікацій математичної моделі та удосконалення методів побудови її розв'язку. Слід зазначити, що авторка за допомогою запропонованого методу та змін моделі, які і визначають основну новизну роботи, повністю досягла поставленої мети. Окрім того, тестування розроблених алгоритмів і порівняння отриманих числових результатів з реальними експериментами дозволило оцінити адекватність запропонованої моделі.

Зупинимось на основних, на наш погляд, отриманих у дисертації результатах, які визначають її **наукову новизну** та значимість.

У *другому розділі* здійснено моделювання процесів зародження та росту пітингоподібних дефектів на поверхні металів та сплавів як розвитку динамічної системи. При цьому значну увагу приділено зниженню обчислювальної складності цих процесів шляхом застосування коміркових автоматів із сусідством фон Неймана II-го порядку (12 найближчих сусідів з оточення комірки). У запропонованій моделі систему «метал – плівка – агресивне середовище» описують набором елементарних комірок та множиною заданих станів, у яких можуть перебувати ці комірки. Локальні правила переходу від одного стану до іншого враховують анодні реакції, процеси пасивації та репасивації, дифузії, зокрема, анодні реакції моделюють поведінку комірок при розчиненні металу всередині пітинга; процеси пасивації відтворюють перехід комірок, що відповідають за «метал», від стану пасивності до стану активності, коли кислотність середовища підвищується; дифузійні процеси моделюють рух комірок «металу» у агресивному середовищі.

Третій розділ присвячено встановленню закономірностей впливу температури на процес пітингової корозії та порівнянню даних про динаміку розвитку точкових пошкоджень на поверхні зразків, отриманих шляхом моделювання, із реальними, одержаними методом прискорених випробувань у лабораторних умовах. Практично підтверджена доцільність застосування запропонованого методу для моделювання процесів кородування сталей у нейтральних середовищах. З використанням запропонованого методу

моделювання можна передбачити утворення пітингоподібних дефектів не лише відкритого, а й частково закритого типу та отримати рельєф поверхні дна, оскільки природа їх утворення пояснюється різною товщиною і тривкістю оксидної плівки на поверхнях, а також – кислотністю агресивного середовища. З огляду на це важливо зазначити, що перспективним також є моделювання прихованих пітингів, які поки що дослідити у реальних умовах складно через обмеження методів мікроскопії та профілометрії (як контактної, так і безконтактної).

В *останньому розділі* апробовано розроблені у дисертації моделі та методи моделювання процесів розвитку пітингоподібних дефектів, здійснено їхню практичну реалізацію. Зокрема, проведена оцінка характеристик корозійної стійкості сплаву дюралюмінію Д16Т та аустентної сталі 08Х18Н10Т, при цьому контролювали такі три параметри: швидкість пітингової корозії, глибину пітингових пошкоджень та втрату механічних властивостей.

Практична цінність отриманих у роботі результатів полягає у зменшенні об'ємів необхідних трудомістких та дорогих експериментів при дослідженні властивостей поверхонь матеріалів конструкцій, у підвищенні якості оцінки параметрів їх дефектів, що підтверджено патентом на корисну модель та актами про використання.

Основні результати дисертації достатньо повно відображені в 16 опублікованих наукових роботах, з яких 10 – у фахових виданнях, причому більшість з них у закордонних. Три роботи опубліковано без співавторів. Особистий внесок здобувача у спільних публікаціях відображено в дисертації і авторефераті. Основні наукові результати, які викладені в спільних публікаціях, отримані дисертантом самостійно.

Матеріали дисертації пройшли достатню апробацію, вони доповідались автором на всеукраїнських і міжнародних наукових конференціях та семінарах. Автореферат правильно і з достатньою повнотою відображає основний зміст дисертації. Дисертаційна робота та автореферат оформлені відповідно до вимог МОН України. Виклад матеріалу дисертації супроводжується всіма необхідними посиланнями в тексті роботи на першоджерела та запозичення з праць інших дослідників. Дисертація та автореферат викладені українською мовою, грамотно, чітко, послідовно, на високому професійному рівні. Основні наукові, практичні положення і результати коректно та логічно сформульовано і представлено у зрозумілій формі.


До дисертаційної роботи слід зробити такі *зауваження*:

1. У другому розділі (підрозділ 2.5) для встановлення меж термодинамічної можливості протікання електрохімічної корозії металів пораховано імовірності переходу між комірками для періоду росту пітингового дефекту з пасивацією та з репасивацією, виходячи з діаграми Пурбе. Незрозуміло, чи цей варіант вибрано як найкращий базовий, чи як єдино можливий існуючий.
2. У третьому та четвертому розділах для підтвердження доцільності застосування запропонованого методу порівняно дані про динаміку розвитку точкових пошкоджень на поверхні лише двох зразків (сплаву дюралюмінію Д16Т та аустентної сталі 08X18H10T), із реальними, одержаними методом прискорених випробувань у лабораторних умовах з використанням оптичного 3D-профілографа Мікрон-альфа. Не пояснено, чому обмежились лише такою кількістю зразків і не обґрунтовано вибір саме цих зразків. Також не зрозуміло, чи запропонована модель, окрім нового п'ятого стану (агресивного середовища п'ятивідсоткового розчину хлористого заліза), може враховувати і більшу їх кількість.
3. Оцінку ефективності запропонованої моделі (підрозділ 3.4, рис. 3.8-3.12) здійснено лише методом візуалізації (на графіках), доцільніше, на мою думку, було б ще й визначити відповідність між обчисленими та експериментально вимірними даними за якимось критерієм.
4. У четвертому розділі при верифікації запропонованого методу прогнозу пітингової корозії із застосуванням коміркових апаратів (підрозділ 4.2, рис. 4.3, 4.4) не вказано, з яким відомим методом здійснено порівняння.
5. У четвертому розділі з опису програмного забезпечення (підрозділ 4.4) не ясно, які інтегралі з математичної моделі обчислюють у імітаційній моделі, а також, з якими рівняннями, наведеними у першому розділі, співставляють параметри задачі Коші для звичайних диференціальних рівнянь.
6. Частина матеріалу, поданого у другому та третьому розділах (підрозділи 2.1, 2.2, 3.1) містить відомості загального характеру, тому мала б бути розміщена, за крайньої потреби, у першому розділі.
7. Робота досить акуратно оформлена, хоча авторка не уникла деяких стилістичних огріхів, зокрема, вживання виразів «комплесні області» (с. 32), «процес транспорту» (с. 34) замість «складні чи неоднорідні області», «процес перенесення», на рис. 3.8 (с. 84) не підписана крива 4; трапляються неозначені величини у формулах (зокрема, у формулах (1.17), (1.27), (1.28)), повтори речень (с. 56 і 57, 58 і 62, 61 і 62).

Вище наведені зауваження не ставлять під сумнів значимість головних положень роботи і не знижують загальної позитивної оцінки дисертації.

Висновок. Подана дисертаційна робота Р.В. Торської "Математичне моделювання розвитку пітингоподібних дефектів методом коміркових автоматів" є оригінальною і завершеною науково-дослідною працею, в якій розв'язана важлива наукова задача – розробка нової математичної моделі процесу розвитку пітингоподібних дефектів на металевих поверхнях, яка дає можливість прогнозувати діаметр та глибину дефектів з урахуванням агресивного середовища, температури та тривалості перебігу корозії, та удосконалення методу коміркових автоматів для реконструкції імовірних пошкоджень, у якому враховується імовірність переходу у стан репасивації окремо взятих дефектів.

За актуальністю теми, обсягом виконаних досліджень, новизною, теоретичною і практичною цінністю отриманих результатів дана дисертаційна робота повністю відповідає вимогам МОН України щодо кандидатських дисертацій за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи, а її авторка Торська Роксана Володимирівна заслуговує присудження їй наукового ступеня кандидата технічних наук за цією спеціальністю.

Доктор технічних наук, старший науковий співробітник,
професор кафедри програмного забезпечення
Інституту комп'ютерних наук і інформаційних технологій
Національного університету «Львівська політехніка»  Л.М. Журавчак
17 березня 2017 р.

Підпис Л.М. Журавчак засвідчую

Вчений секретар

Національного університету «Львівська політехніка»

кандидат технічних наук, доцент



Р.Б. Брилинський