

УДК 536.53

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ НОМІНАЛЬНОЇ СТАТИЧНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ У АГРЕСИВНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Ї Маньковська Емілія, Скоропад Пилип, Микитин Ігор, 2011

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра інформаційно-вимірювальних технологій,  
вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

*Розвинено методіку визначення типу корозії чутливого елемента термоперетворювача опору в агресивному середовищі. Запропоновано моделі рівномірної та пітингової корозії.*

*Развито методіку определения типа коррозии чувствительного элемента термопреобразователя сопротивления в агрессивной среде. Предложено модели равномерной и питтинговой коррозии.*

*The methodology of corrosion type definition of sensing element of resistive thermal converter in corrosive medium is developed. The models of even and pitting corrosion are suggested.*

**Вступ.** Прецизійне вимірювання температури в агресивних середовищах є сьогодні дуже актуальним, оскільки інтенсивно розвиваються нові напрями, зокрема в хімічній, фармацевтичній, харчовій індустрії. Відомо, що певні стадії технологічних процесів у згаданих вище галузях, для забезпечення потрібних характеристик вихідного продукту, повинні проходити за певної температури з огляду як на підтримання оптимальних умов перебігу хімічних реакцій, так і навіть з огляду на техногенну безпеку. Тому вимоги до засобів температурного контролю в таких процесах доволі жорсткі, оскільки вони, зрештою, забезпечують і якість продукту, і техногенну безпеку технологічного процесу його виготовлення. Окрім того, є немало технологічних операцій, які повинні тривати неперервно протягом значних періодів часу.

**Постановка проблеми.** Враховуючи сказане вище та факт, що основними засобами термометрії при реалізації таких процесів переважно є термоперетворювачі опору, а, як відомо, агресивне середовище негативно впливає на матеріал чутливого елемента (ЧЕ) термоперетворювача, здійснено аналітичний огляд сучасних засобів вимірювання температури [1–6], який показав, що наявні засоби не задовольняють комплекс вимог, які повинні забезпечувати прилади для вимірювання температури в агресивних середовищах. Окрім того, треба взяти до уваги ще й те, що під час реалізації неперервних технологічних процесів немає змоги будь-коли замінити термоперетворювач. Тому такий засіб вимірювання температури, що працює в агресивному середовищі, можна верифікувати

лише під час планової метрологічної перевірки, а в період між плановими метрологічними перевірками є ризик втрати його метрологічних характеристик з відповідними наслідками.

**Аналіз актуальних досліджень.** Виконавши аналітичний огляд літературних джерел [7, 8], можна стверджувати, що перспективним вирішенням цієї проблеми є застосування як ЧЕ термоперетворювачів металевих аморфних стопів (МАС).

Як відомо, МАС мають високу корозійну стійкість і довговічність, що характерно для матеріалів з гомогенною структурою [7]. Хімічна однорідність, відсутність лінійних дефектів типу дислокацій вказують і на імовірність їхньої підвищеної корозійної стійкості. Металічні аморфні стопи, у складі яких є Cr, випробовували в стандартних розчинах і спостерігали дуже низькі, порівняно зі звичайними нержавіючими сталями, швидкості корозії. Отже, як показано раніше [9, 10], МАС є перспективними матеріалами для застосування в електротермометрії при виготовленні ЧЕ термоперетворювачів опору, які працюють в агресивних середовищах.

Відомо, що в термоперетворювачах опору про зміну температури дізнаємося через зміну опору ЧЕ, а отже – очевидний вплив агресивного середовища, який спричиняє додаткову похибку, що проявляється через відхилення від номінальної статичної характеристики (НСХ) перетворення. Так, в [10], враховуючи сказане вище, було зроблено спробу прогнозування відхилення від НСХ термоперетворювача опору, який працює в агресивному середовищі. Аналізуючи результати

досліджень, наведені у [10], можна зауважити, що розглядається лише рівномірна корозія, яка характеризується певною швидкістю, проте не вказано, чому вибрано саме її, а не, скажімо, пітингову, яка може значно більше впливати на зміну НСХ термоперетворювача опору.

Враховуючи вищесказане, запропоновано дослідити вплив корозії на зміни статичної характеристики перетворення чутливих елементів термоперетворювачів та можливості виявлення типу корозії за зміною опору ЧЕ термоперетворювача у часі.

**Дослідження моделей корозії чутливого елемента термоперетворювача.** Побудовано програмні моделі, які описують два основні типи корозії ЧЕ термоперетворювача – пітингову та рівномірну. По довжині чутливий елемент (рис. 1) ділять на  $n$  однакових частин (далі кластерів), з яких  $m$  кластерів зазнають впливу пітингової корозії, а  $n-m$  кластерів – рівномірної корозії (модель 1). Для моделі 2 усі  $n$  кластерів зазнають рівномірної корозії. Для обох моделей досліджено характер зміни опору термоперетворювача у часі під дією агресивного середовища.

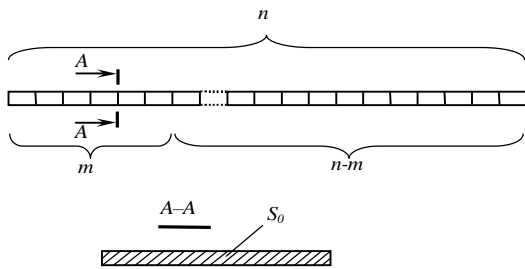


Рис. 1. Модель чутливого елемента термоперетворювача

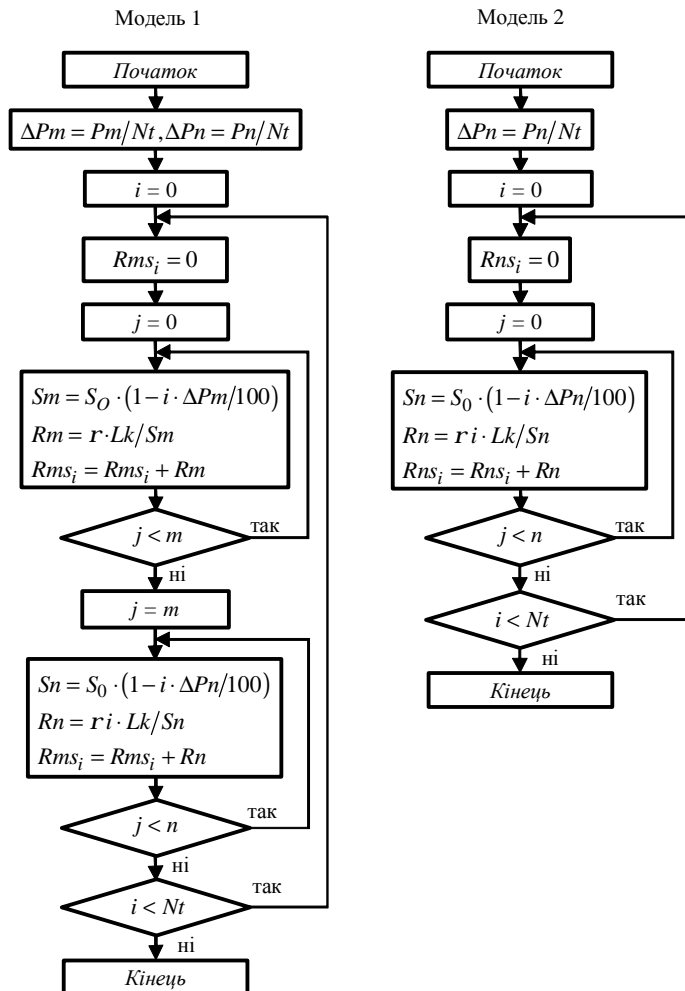


Рис. 2. Алгоритми розрахунку опору ЧЕ за моделями пітингової та рівномірної корозії.  $Lk = L_{пот} / n$  – довжина кластерів;  $DPm, DPn$  – крок зміни площі перерізу кластерів за часом, відповідно, для моделі пітингової та рівномірної корозії;  $S_m, S_n$  – площа перерізу кластерів на  $j$ -му кроці ітерації, відповідно, для моделі пітингової та рівномірної корозії;  $Rm, Rn$  – значення опору кластера на  $j$ -му кроці ітерації, відповідно, для моделі пітингової та рівномірної корозії;  $Rms, Rns$  – сумарне значення опору ЧЕ на  $i$ -му кроці ітерації, відповідно, для моделі пітингової та рівномірної корозії

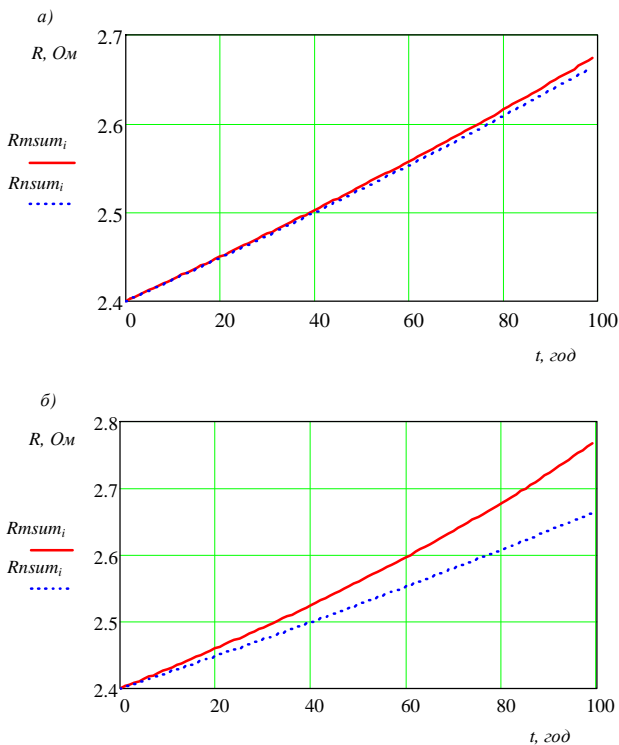


Рис. 3. Зміна значення опору ЧЕ від впливу дії корозії.  
 Параметри моделювання:  $S_0=0.05 \times 10^{-6} \text{ м}^2$ ,  
 $L_{nom}=0.08 \text{ м}$ ,  $r=150 \times 10^{-8} \text{ Ом} \times \text{м}$ ,  $P_n=10\%$ ,  $P_m=50\%$ ; а  
 –  $n=10000$ ,  $m=50$ ; б –  $n=10000$ ,  $m=500$

Початково задано: кількість кроків  $Nt$  зміни опору ЧЕ термоперетворювача за часом (загальний час 100 год), значення питомого опору  $r$  матеріалу ЧЕ,  $n$ ,  $m$ , початкову площу перерізу  $S_0$  ЧЕ (рис.1), довжину ЧЕ  $L_{nom}$ , зменшення площі перерізу кластерів за час дослідження у відсотках від  $S_0$ , відповідно  $P_m$  – за рахунок пітингової корозії,  $P_n$  – за рахунок рівномірної корозії. Причому зменшення площі кластерів за рахунок пітингової корозії приймалось значно більшим, ніж у разі рівномірної корозії. Алгоритми розрахунку опору ЧЕ термоперетворювача для обох моделей наведено на рис. 2.

Для кожної моделі розраховано зміну значення опору ЧЕ від впливу дії корозії. Результати досліджень подано на рис. 3.

У разі рівномірної корозії залежність зміни значення опору ЧЕ у часі має практично лінійний характер. За дії пітингової корозії зміна значення опору ЧЕ має явно виражений нелінійний характер. Причому через збільшення кількості кластерів, які перебували під дією пітингової корозії, суттєво зростає нелінійність (рис. 3, б). Крім того, навіть за незначного процентного вмісту

кластерів з пітинговою корозією спостерігається відхилення від лінійної залежності (рис. 3, а).

**Висновки.** Результати досліджень моделей корозії показали, що за характером зміни значення опору ЧЕ термоперетворювача під дією корозії можна робити висновки про тип корозії. Якщо зміна значення опору ЧЕ у часі має лінійний характер, то домінує рівномірна корозія. Коли ж спостерігається нелінійність у зміні значення опору ЧЕ, то домінує рівномірна корозія. Коли ж спостерігається нелінійність у зміні значення опору ЧЕ, то є висока ймовірність пітингової корозії. Надалі планується порівняння результатів моделювання з експериментально отриманими результатами впливу агресивного середовища на значення опору ЧЕ.

1. Каталог продукції науково-виробничого об'єднання "Термоприлад". [Електронний ресурс] – Режим доступу до інформації: <http://www.thermo.lviv.ua/ukr/catalog> 2. Каталог продукції ОАО НПП "Эталон". [Електронний ресурс] – Режим доступу до інформації: <http://omsketalon.ru/> 3. Каталог продукції ФГУП "НИИ НПО "Луч". [Електронний ресурс] – Режим доступу до інформації: <http://www.luch.podolsk.ru/catalog.pdf> 4. Каталог продукції "Теплоконтроль". [Електронний ресурс] – Режим доступу до інформації: <http://teplocontrol-c.ru/katalog-2.html> 5. Каталог продукції підприємства "Теплоприбор". Датчики температури. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до інформації: <http://www.tpchel.ru/rus/production/?cid=6> 6. Каталог продукції производственной компании "Тесей". [Електронний ресурс] – Режим доступу до інформації: <http://www.tesey.com/products/catalog/> 7. Металлические стекла / Под. ред. Гилмана Дж.Дж. и Лими Х.Дж., США, 1978; пер. с англ. – М.: Металлургия, 1984. – 264 с. 8. Судзуки К. Аморфные металлы. Судзуки К., Фудзимори Х., Хасимото К.; под. ред. Масумото Ц.; пер. с япон. – М.: Металлургия, 1987. – 328 с. 9. Адамюк Е.І. Проблеми прецизійного вимірювання температури в агресивних середовищах / Е.І. Адамюк // Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка" Автоматика, вимірювання та керування. – 2009. – № 639. – С. 218–223. 10. Маньковська Е.І. Корозійна стійкість металевих аморфних стовпів та метрологічна надійність термоперетворювачів на їх основі / Емілія Маньковська, Пилип Скоропад, Арсен Семенистий // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2010. – № 71. – С. 98–102.