

УДК 669.14: 178

**АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ ОСЦИЛЯЦІЙ
В УМОВАХ ВІБРАЦІЙНОЇ КАВІТАЦІЇ***О. І. БАЛИЦЬКИЙ¹, Я. ХМСЛЬ², Л. ДОРОБЧИНСЬКІ²*¹ *Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів;*² *Морська академія, Щецин, Польща*

Аналізом електрохімічних процесів в умовах вібраційної кавітації виявлено можливість виділення водню і, відповідно, наводнювання металічної поверхні та її окрихчення. Зміна знака імпульсів пов'язана з особливостями електроліту, в якому присутні позитивні і негативні іони. Виникнення кавітаційних пухирців супроводжується перенесенням іонів випадкового складу, а сумарний знак імпульсу залежить від виду іонів, що домінують.

Ключові слова: *електрохімічні процеси в умовах вібраційної кавітації, воднева деградація за кавітаційного руйнування.*

Електрохімічні процеси в умовах вібраційної кавітації [1–7] можна змоделювати на установці з нерухомим зразком. Тому проаналізуємо зміни протікання анодного струму і електродного потенціалу залежно від дії на поверхню зразка кавітації.

Методика. Конструкція установки дає можливість змінювати кавітаційну енергію двома способами: міняючи амплітуду коливань кінцівки резонатора та відстань між поверхнями резонатора і зразка [1]. Основні елементи установки такі: робоча трьохелектродна комірка об'ємом 2 dm³ зі зразком і петлею охолодження; потенціостат EP-20a (100 kHz, виходи U_{wref} та $U(i)$); ультразвуковий процесор Sonics VCX-500 (20 kHz, амплітуда 124 μm); термостат Polyscience 9512; блок вимірювання та управління на базі комп'ютера, який підключений до перетворювачів Advantech PCI-1716 і Advantech PCI-1714 (під контролем системи Windows XP, програмування DasyLab 9.0 і додаткового програмування). Застосовано двоканальний осцилограф з максимальною частотою 100 MHz. Досліджували за таких умов: робоче середовище – розчин NaCl (30 g/1000 ml), робочий електрод – армко-залізо; електрод порівняння – TiAl6V4, застосований як наконечник резонатора; контрольний електрод – хлоридсрібний (вводи відпирні до дії кавітаційної хвилі, тип Eurosensor EAgClU-302); температура 20±1°C; експонована поверхня зразка 1 cm², діаметр 11,28 mm; амплітуда коливань змінюється від 25 до 125 μm, відстань між резонатором і зразком – від 2,5 до 20 mm; міжелектродний потенціал – від –1 до +1 V.

Вихідні сигнали U_{wref} і $U(i)$ спостерігали на екрані осцилографа і реєстрували перетворювачем А/D (12 bit) з частотою 1 MHz. За такої частоти синхронізували сигнал з коливаннями резонатора (за періодичності сигналу).

Результати та їх обговорення. В умовах вібраційної кавітації фіксували осциляції сигналів потенціалу та анодного струму, що мали періодичний коливний характер (рис. 1). Результати аналізу випадкових змін значень струму і потенціалу дають можливість стверджувати, що вони є суперпозиція постійного складника або такого, що змінюється дуже поволі (порядку кілька хвилин) і пов'язаний з

Контактна особа: О. І. БАЛИЦЬКИЙ, e-mail: balitski@ipm.lviv.ua

потенціалом, що виникає між електродами і відповідним анодним струмом в статичних умовах без кавітації; складника за частоти 20 kHz, що відповідає коливанням середовища в міжелектродному просторі від резонатора (які далі називатимемо основною хвилею); швидкозмінного зі складною структурою (з домінуютьною аеродинамічною компонентою з нерегулярними загасаннями основної хвилі, причому час існування зникаючого імпульсу можна окреслити як 1/4 періоду основної хвилі, тобто $\sim 12 \mu\text{s}$).

Для ідентифікації всіх складників використано три варіанти перетворення вимірюваних сигналів: а) класичні фільтри смуг пропускання, що реалізовані на аналоговій схемі вимірювального каналу в реальному часі, для відфільтровування складників, що повільно або частково змінюються; б) цифрову обробку в режимі off-line з використанням FFT з вилученням вибраних складників спектра IFFT; в) цифрову локальну фільтрацію сигналу на відрізках спектра з конкретним підбором медіанного фільтра. У другому і третьому варіантах застосовано програми, урухомлені в середовищі Scilab 5.2.2.

Аналогова фільтрація виявилась неефективною через випадкову зміну і аперіодичність зникаючих імпульсів. Багатократно поряд з періодичним спотвореним сигналом зникали також швидкозмінні аеродинамічні імпульси. Фільтрація зі застосуванням методик спектрального аналізу сигналу дає задовільні результати, оскільки заводський складник періодичний. В аналізованому випадку через аперіодичність завод ускладнювався підбір елімінувальних масок, тому вибрали з гармонічними складниками. Спричинене це природою фільтрів. Підбір масок полягав у вилученні завод разом зі складниками основної хвилі, фільтрація одновимірного сигналу – у знаходженні значення медіани у відносно вузькому часовому вікні за даною шириною (позначеною як $2M-1$, де M – так званий порядок фільтра) (рис. 2a). Медіанні фільтри генерують нові значення відліку для вихідного сигналу. Їх перевага – велика інформативність під час детектування і вилучення випадкових завод, а недолік – введення значних запізнень сигналу, що утруднює використання методу on-line [2]. Тут застосовано медіанний фільтр, що узгоджується за фазою з сигналом основної хвилі без завод (рис. 2b).

Зареєстровані сигнали U_{wref} і $U(i)$ фільтрували медіанними фільтрами другого–шостого порядків. Встановлено, що фільтри другого і третього порядків мало селективні, ніж вищих порядків; фільтри четвертого і п'ятого порядків значно підвищують селективність і вірогідність реконструкції сигналу; з подальшим зростанням порядку фільтра (понад 6) можлива втрата синхронності (унаслідок дрейфу частоти генератора) і поява артефактів. Тому як оптимальний вибрали фільтр четвертого порядку. З вихідного сигналу (рис. 3a) за допомогою цього фільтра виділено корисний сигнал (рис. 3b). Різницю між вихідним і реконструйованим сигналом визнано як корисний сигнал (рис. 3c).

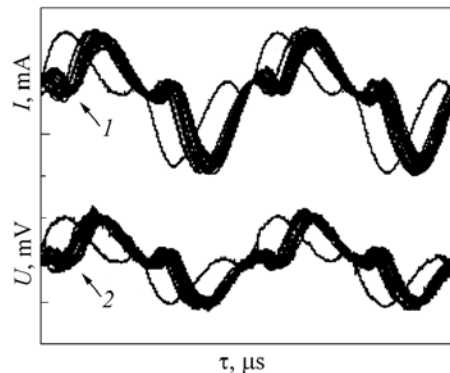


Рис. 1. Типова осцилограма “вихідного сигналу” анодного струму (канал 1) і міжелектронного потенціалу (канал 2) під час реєстрації впродовж 2 s.

Fig. 1. Typical oscillogram of the “initial signal” of anode current (channel 1) and interelectrode potential (channel 2) for 2 s registering.

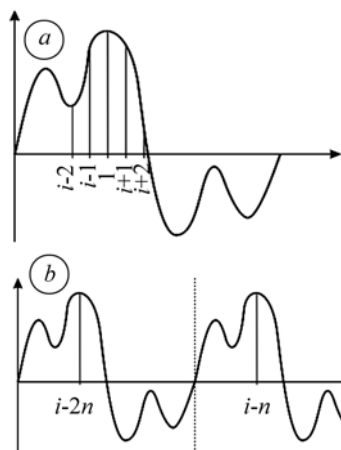


Рис. 2. Фільтр третього порядку $i_f = f(i)$:
a – загальний випадок; *b* – для періодичних сигналів,
n – кількість відліків у періоді.

Fig. 2. Filter of the 3-rd order $i_f = f(i)$: *a* – common case;
b – for periodical signals, *n* – quantity of counts
in a period.

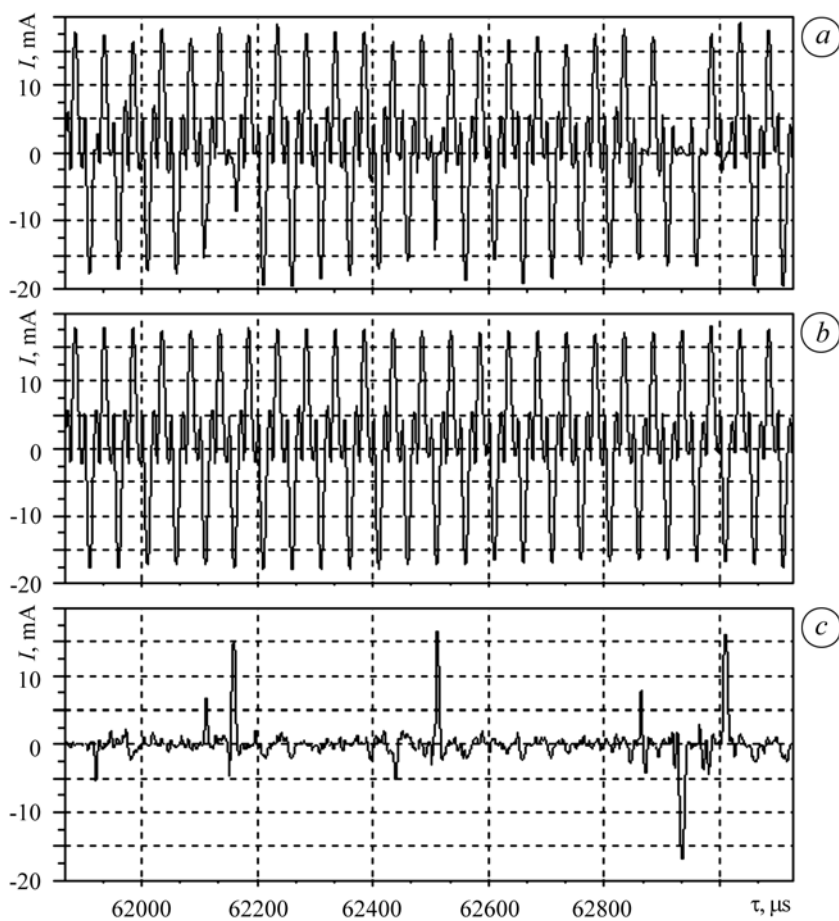


Рис. 3. Зарєстровані та вирахувані зміни анодного струму:
a – вихідного сигналу; *b* – реконструйованої основної хвилі; *c* – сигналу завад
(різниці сигналів (*a*) і (*b*), в т.ч. і імпульс струму зворотної поляризації).

Fig. 3. Recorded and calculated cycles of anode current change: *a* – initial signal;
b – reconstructed main wave; *c* – noise signal (difference of signals (*a*) and (*b*),
including the pulse of reverse polarisation current).

Сигнал завад складається з головних імпульсів з амплітудою в деяких випадках того самого порядку, що і основної хвилі, часом існування $10\ \mu\text{s}$ і аперіодичним характером та випадковим знаком; виявлено імпульси, що передують головному за значно меншої амплітуди і часу існування $3\ \mu\text{s}$; зафіксовано імпульси після основного імпульсу з тривалістю зникання осциляцій порядку $10\text{...}12\ \mu\text{s}$.

Перебіг абсолютного значення сигналу завад свідчить про його якісну структурну подібність до змін тиску, що зареєстрували п'єзоелектричні давачі в ідентичних умовах кавітаційного навантаження на тій самій установці і узгоджується з відомими результатами (рис. 4) [3]. Але не підтверджено кореляції між потенціалом та амплітудою складника завад, як це було між амплітудою вібрації збуджувача та амплітудою основної хвилі "peak to peak", основного і завадового сигналів. В досліджуваному інтервалі кавітаційних навантажень цю залежність можна описати лінійною моделлю і многочленом другого порядку.

Зміна знака імпульсів пов'язана зі складом середовища (електроліту), в якому є позитивні і негативні іони. Виникнення кавітаційних пухирців в електроліті супроводжується механічним перенесенням іонів з випадковим складом [4]. Сумарний знак імпульсу залежить від типу іонів, які домінують. Залежно від амплітуди деякі імпульси можуть спричинити тимчасову змінну поляризацію, а також стимулювати адсорбцію водню на поверхні робочого електрода.

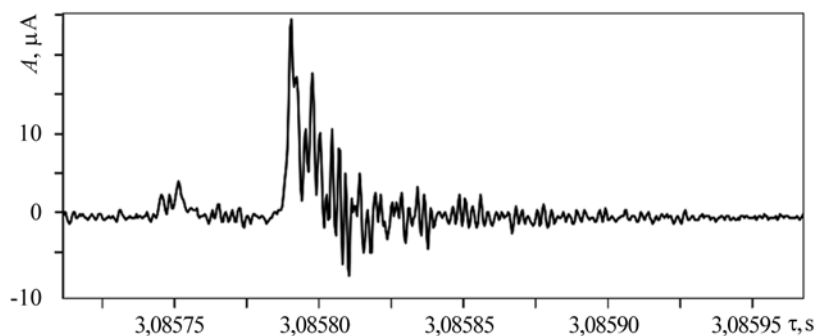


Рис. 4. Перебіг імпульсних змін тиску в умовах кавітації.

Fig. 4. Pulse change of pressure under cavitation.

Постачальником водню за умов кавітації є електроліт. Матеріал робочого електрода (армо-заліза) розтріскується. Унаслідок наводнювання металічної поверхні та її окрихчення знижується енергоємність кавітаційного руйнування. Інтенсифікують появу кавітаційних пухирців електрохімічні процеси, які посилюються під час вібраційної кавітації. Зміна знака імпульсів та домінуюча роль протонів проявляється в окрихченні поверхні робочого електрода та зміні її твердості.

ВИСНОВКИ

Встановлено кореляцію між амплітудами вібрації збуджувача та основної хвилі, "peak to peak" основного сигналу і сигналу завад. В досліджуваному інтервалі кавітаційних навантажень цю залежність можна описати лінійною моделлю і многочленом другого порядку. Кореляції між потенціалом та амплітудою складника завад не підтверджено. Зміна знака імпульсів пов'язана зі складом розчину електроліту, в якому є позитивні і негативні іони. Виникнення кавітаційних пухирців в електроліті супроводжується механічним перенесенням іонів з випадковим складом. Сумарний знак імпульсу залежить від типу іонів, які домінують. Залежно від амплітуди імпульсу вони спричиняють тимчасову зміну поляризації і стимулюють адсорбцію водню на поверхні робочого електрода.

РЕЗЮМЕ. На примере электрохимических процессов в условиях вибрационной кавитации показано, что здесь возможно выделение водорода, а следовательно, наводороживание металлической поверхности и ее охрупчивание. Изменение знака импульсов связано с составом электролита, в котором присутствуют положительные и отрицательные ионы. Возникновение кавитационных пузырьков в электролите сопровождается механическим переносом ионов. Суммарный знак импульса зависит от типа ионов.

SUMMARY. Using as an example the electrochemical processes under vibration cavitation it has been shown that hydrogen release and hence hydrogen saturation of metallic surface and its embrittlement is possible. Change of a pulse sign is connected with electrolyte composition, containing the positive and negative ions. Creation of cavitation bubbles in the electrolyte is accompanied by mechanical transfer of ions with a casual composition. A total sign of the pulse depends on ion type.

1. *Chmiel J.* Advances in the research into the phenomena of corrosion-cavitation and hydrogen-cavitation wear // Polish J. of Environmental Studies. – 2009. – **18**, № 2A. – P. 33–38.
2. *Zieliński T.* Cyfrowe przetwarzanie sygnałów. – Warszawa: WKŁ, 2005. – 364 s.
3. *Badania zużycia korozyjno-kawitacyjnego na stanowisku wibracyjnym ze spoczywającą próbką* / J. Chmiel, W. Janicki, A. Krella, J. Steller // Problemy eksploatacji. – 2010. – № 1. – P. 91–100.
4. *Chincholle L., Goby F.* Etude de la charge électrique des bulles de cavitation. Application éventuelle à la détection du seuil de cavitation // IAHR&SHF Symposium “Two Phase Flow and Cavitation in Power Generation”. – Grenoble, 1976.
5. *Цирульник О. Т., Бассараб А. І.* Деформаційні процеси під час кавітаційного руйнування феритно-перлітної сталі // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 1998. – № 6. – С. 73–76.
(*Tsyurul'nyk O. T. and Bassarab A. I.* Deformation processes during cavitation damage of ferritic-pearlitic steel // Materials Science. – 1998. – **34**, № 6. – P. 821–825.)
6. *Цирульник О. Т., Бассараб А. І.* Структурна чутливість сталей до корозійно-механічного руйнування під час втоми та кавітації // Там же. – 1999. – № 4. – С. 120–124.
(*Tsyurul'nyk O. T. and Bassarab A. I.* Structural Sensitivity of steels to corrosion-mechanical fracture under conditions of fatigue and cavitation // Materials Science. – 1999. – **35**, № 4. – P. 581–586.)
7. *Роль водню в кавітаційному руйнуванні сталі 45 у змащувальних середовищах* / О. І. Балицький, Я. Хмель, П. Краузе та ін. // Там же. – 2009. – № 5. – С. 39–42.
(*Balitskii O. I., Chmiel J., Krause P., Niekrasz J., and Maciag M.* The role of hydrogen in cavitation fracture of steel 45 in lubricants // Materials Science. – 2009. – **45**, № 5. – P. 39–42.)

Одержано 18.12.2009