

## АНАЛІЗ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ В ПРОЦЕСАХ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ВЕЙВЛЕТ-ПАКЕТІВ

**В. В. ШЕВЧЕНКО, С. С. ЗАЄЦЬ, А. І. ОЛІНІЙЧУК\***

*Кафедра приладобудування. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Сікорського», Київ, УКРАЇНА.*

*\*email: a.oliniychuk@gmail.com*

**АНОТАЦІЯ** В даній роботі були проведені дослідження акустичної емісії (АЕ) в рамках моніторингу процесів механічної обробки. АЕ безпосередньо пов'язана зі станом інструменту, так як акустична хвиля генерується за рахунок пластичної деформації, стирання, руйнування та поширення тріщин. У дослідженні, опублікованому в даній роботі було виміряно декілька параметрів АЕ під час механообробки. В той час як ці параметри вказують на ступінь зносу ріжучого інструменту, їх інформативність для промислового використання обмежена. Для набуття більшої інформативності була використана теорема вейвлет-пакетів (ВП), за допомогою якої ми ввели додаткові коефіцієнти ентропію та силу. Отримали адекватну модель для визначення стану інструменту.

**Ключові слова:** акустична емісія; вейвлет-пакети; ентропія; механічна обробка; аналіз АЕ

## ANALYSIS OF ACOUSTIC EMISSION IN THE PROCESSES OF MACHINING USING WAVELET PACKETS

**V. SHEVCHENKO, S. ZAYATS, A. OLINIYCHUK**

*<sup>1</sup>Department of Instrument Design and Engineering, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, UKRAINE.*

**ABSTRACT** The problem of safe operation and efficient operation of complex technical systems and equipment hazardous industries. A significant depreciation of industrial equipment involves the search for new approaches to solving the problems that stand before the technical diagnosis. The aim was to develop a system of analysis of acoustic emission (AE) for machining processes. Originally performed by analysis of informative parameters of AE. After the experiment, it was found that their information content is insufficient for industrial use. To solve this problem, we used wavelet packet method. Using advanced options and forces of entropy, solved the problem, which was confirmed experimentally. Parameter energy in conjunction with the parameters of AE is a measure of tool wear. When we register peak signals a change in the behavior of other parameters, leading to the rejection of the system. Informative parameters AE can establish dependency on energy consumption equipment that gives a fairly accurate results. The downside can be assumed that all of these parameters and their combination is sensitive to the conditions and needs careful care facilities.

**Keywords:** acoustic emission; wavelet packet; entropy; machining; analysis of AE

### Вступ

Під час моніторингу процесів механічної обробки метод акустичної емісії має ряд значних переваги у порівнянні з іншими. Основною серед них є те, що акустична емісія має широкий спектр коливань, набагато ширший ніж у відповідних коливань спричинених вібраціями обладнання та шумами навколишнього середовища. При цьому вона не впливає на операції різання. З іншого боку, акустична емісія безпосередньо пов'язана зі станом інструменту, оскільки коливання генеруються за рахунок пластичної деформації, стирання, руйнування та поширення тріщин.

Науковці [1] встановили, що процеси деформації та руйнування є основним джерелом акустичної емісії у механічній обробці металів. Вони

виділяють три зони, де може виникати акустична емісія:

Зона первинної деформації: ріжучий край інструменту, поступово наближаючись до матеріалу та тиснучи на нього, формує зріз фронтальної зони.

Стружка здійснюється над лицьовою стороною інструменту і він частково деформується.

Зона вторинної деформації: виникає у проміжку між стружкою та ріжучим краєм у момент стирання та часткової деформації інструменту,

Зона третинної деформації: виникає у місці тертя нової поверхні, вивільненої з-під стружки, та ріжучого краю інструмента.

Коли стружка відділяється та падає, незалежно від того постійно чи періодично, вона пошкоджує металеву частину інструменту. Відповідно, це має бути вказане як додаткове джерело акустичної емісії.

### Мета роботи

Під час моніторингу процесів механічної обробки метод акустичної емісії має ряд значних переваги у порівнянні з іншими. Основною серед них є те, що акустична емісія має широкий спектр коливань, набагато ширший ніж у відповідних коливань спричинених вібраціями обладнання та шумами навколишнього середовища. При цьому вона не впливає на операції різання. З іншого боку, акустична емісія безпосередньо пов'язана зі станом інструменту, оскільки коливання генеруються за рахунок пластичної деформації, стирання, руйнування та поширення тріщин.

Науковці [1] встановили, що процеси деформації та руйнування є основним джерелом акустичної емісії у механічній обробці металів. Вони виділяють три зони, де може виникати акустична емісія:

Зона первинної деформації: ріжучий край інструменту, поступово наближаючись до матеріалу та тиснучи на нього, формує зріз фронтальної зони. Стружка здійснюється над лицьовою стороною інструменту і він частково деформується.

Зона вторинної деформації: виникає у проміжку між стружкою та ріжучим краєм у момент стирання та часткової деформації інструменту,

Зона третинної деформації: виникає у місці тертя нової поверхні, вивільненої з-під стружки, та ріжучого краю інструмента.

Коли стружка відділяється та падає, незалежно від того постійно чи періодично, вона пошкоджує металеву частину інструменту. Відповідно, це має бути вказане як додаткове джерело акустичної емісії.

### Виклад основного матеріалу досліджень

Попередні теоретичні дослідження [1] співвідносять різноманітні параметри різання із значенням RMS сигналу на основі формули 1. Це спів- відношення бере до уваги першу та другу зони деформації акустичної емісії. Якщо ми хочемо застосувати формулу 1, то вплив третинної зони деформації має бути мінімізований. Мінімізувати акустичну емісію спричинену відділенням стружки можна за допомогою переміщення стружки поза межі робочої зони. Джерела акустичної емісії, пов'язані із третинною зоною деформації можуть бути зменшені за рахунок гостроти ріжучого краю інструменту, а також за умови взяття до уваги лише початкової стадії виробничого процесу(процесу обробки)

$$RMS = C \sin \alpha \left( \tau_k b_1 U \left( \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha \cos(\varphi - \alpha)} t_1 + \frac{1}{3} (l + 2l_1) \frac{\sin \alpha}{\cos(\varphi - \alpha)} \right)^{\frac{1}{2}} \right) \quad (1)$$

де :  $b_1$  – ширина різання,  $l_1$  – довжина зони різання,  $l$  – довжина зони контакту ріжучого інструменту й

стружки,  $U$  – швидкість різання,  $\alpha$  – передній кут,  $\varphi$  – кут зсуву,  $\tau_k$  – напруга зсуву,  $C$  – const.

Рівняння 1, є поганим наближенням до реальних експериментів, хоч воно і описує вплив геометрії і швидкості на процес різання. До тих пір поки йде руйнування геометрії ріжучого інструменту відбувається зміна константи та змінних, вони приймають різні значення. Крім того, при механічній обробці важлива частина АЕ генерується в третинній зоні. Через це потрібно статистичне дослідження декількох параметрів сигналу АЕ.

Реалізований метод аналізу сигналів в даній роботі ґрунтується на вейвлетному пакеті перетворень («Wavelet Packet Transform»).

Це узагальнення стандарту вейвлет - перетворення і дозволяє контролювати точність аналізу в частотній області[2]. Існує широкий набір ортогональних баз - сигналів з кінцевою енергією, які пов'язані з цим методом. Для оптимального представлення сигналу, підбираються адекватні критерії, для вибору кращої бази [3]. Елементарними функціями, які складають основи, є хвильові пакети. Їх можна розглядати як вейвлети фіксованої тривалості та патерну коливань. Таким чином можна розширити набір стандартних вейвлетів, що поєднуються в широкому діапазоні за частотою і часом.

Метод Вейвлет Пакетів, запропонований Маєром[4], є результатом послідовного застосування пари сполучених фільтрів, пов'язаних зі схемою кратномасштабного аналізу.

Маючи заданий сигнал, можна проаналізувати його за допомогою узагальненого алгоритму Маллата, що оснований на рекурсивній дії кон'югованих фільтрів[5]. Ця процедура організована таким чином: генеруються коефіцієнти, які представляють сигнал в класах елементарних функцій, організованих в бібліотеці ортонормованих базисів. Коли цей процес буде завершений, ми повинні вибрати коефіцієнти , які відповідають оптимальній основі.

Нарешті , ми маємо уявлення про сигнал у вигляді:

$$s(t) = \sum_j c_j \varphi_j(t) \quad (2)$$

де  $J$  – пакет хвиль в оптимальній базі,  $c_j$  – відповідний коефіцієнт представлення.

Оскільки базис ортонормований, енергія сигналу визначається за формулою:

$$\int |s(t)|^2 dt = \sum_j |c_j|^2 \quad (3)$$

Інформація, представлена коефіцієнтами  $J$  , які залежать від обраного критерію. Зокрема, якщо використовувати критерій мінімальної ентропії, ми обираємо основу, яка зводить до мінімуму число значущих коефіцієнтів в поданому сигналі.

Ентропія  $S$  є параметром, який відображає значення ступеню внутрішнього розладу або неорганізованості сигналу що до заданого базису: відносно низьке значення ентропії свідчить про наявність структури здатною до розпізнавання навіть на рівні елементів паттернів. Що в свою чергу, робить результати більш точними та корельованими, та робить використання та подальші обрахунки більш надійними. Навпаки, ситуація коли значення ентропії є високим, це вказує на відсутність простої та ідентифікованої структури [5-7]. Що в свою чергу може потребувати введення параметрів для корекції результатів, а це ускладнення підрахунків та зниження достовірності отриманих результатів

Застосування цих критеріїв виявляється досить корисним, зокрема, для аналізу послідовностей сигналів, що надходять від процесів з властивостями, які задаються стаціонарно в короткі проміжки часу, але не є стаціонарними. Стаціонарні сигнали з плином часу не можуть ні загукати, ні набувати все більших значень, тому їх в урахування є недоречним. Оскільки, використовувані сигнали, обмежені в часі, вони будуть нестационарними [8-9].

Під час обробки сигнал було розділено на аналоговий та дискретний. В даній роботі були проаналізовані тільки аналогові сигнали ( з простору  $L$  – простір неперервних по області визначення), оскільки вони містять інформацію про зношування інструменту. Вони несуть інформацію про мікротріщини інструменту та шуми. Стаціонарними сигналами являються ті, що мають середнє значення.

### Обговорення результатів

Стаціонарні сигнали є ті, які мають середнє  $E(xt)$  та такий параметр автокореляції  $R_x(t, t + \tau)$ , і не залежать від часу, на відміну від нестационарних, котрі модулюються за часом та частотою. Сигнал знаходиться в нерухомому стані, якщо:

$$E = (X_1) = \mu_k \quad (4)$$

$$R_x(t, t + \tau) = R_x(\tau) \quad (5)$$

тобто з практичної точки зору:

$$|E(X_1) - \mu_k| \leq \varepsilon \quad (6)$$

$$|R_x(t, t + \tau) - R_x(\tau)| < \varepsilon \quad (7)$$

Приймаємо  $\mu_k$  та  $R_x(\tau)$  константи. У рівнянні 4, використовуємо контроль стаціонарності. У тому сенсі, що сигнал буде розділений на аналоговий та дискретний.

Первинна обробка даних АЕ полягала в прийнятті інформативних параметрів, які встановлюються системою, обираючи середнє значення пісня кожного проходження. Зростання

енергії зображено на рис. 1. Ми можемо спостерігати піки посеред випробування. Цей пік попереджує про зміну інших параметрів, таких як сумарний підрахунок, швидкість підрахунку, амплітуда, спектр та кількість сигналів перевищуючих встановлений поріг. Після перевищуючого піку, ці п'ять параметрів представляють критичні значення. На рис. 2 зображена динаміка енергії, отримана у другому експерименті. Енергетичний пік був отриманий в другій частині, що супроводжувалося перегрівом, але він не є критичним, хоча може вказати на деякі нюанси в роботі системи.

На графіках рис.1, рис.2 добре помітно пікове зростання енергії, яке наглядно нам демонструє ситуацію, яка відбувається з інструментом під час роботи. Тобто це свідчить про зміну наших інформативних параметрів, враховуючи, що ми маємо різні піки для кожного інструменту, то можна вважати, що це є недоліком для прийняття даних параметрів для діагностики у промисловості.

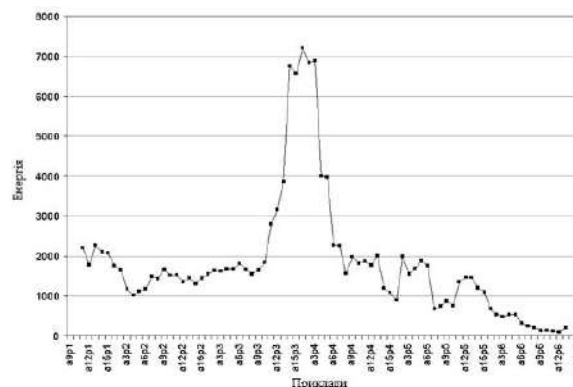


Рис. 1 – Перепад енергії у першому експерименті

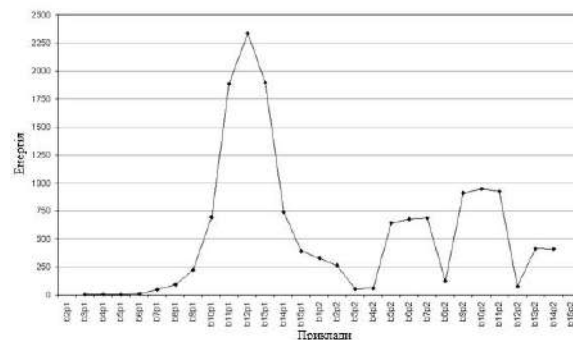


Рис. 2 – Перепад енергії у другому експерименті

На гістограмах рис. 3, рис. 4, помітно, що пошкодження інструменту відбувається переважно за низьких частот.

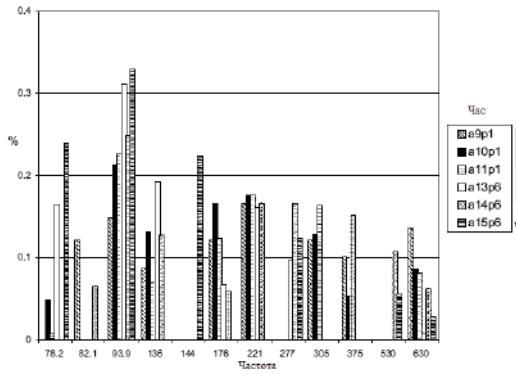


Рис. 3. – Частотна діаграма до першого експерименту

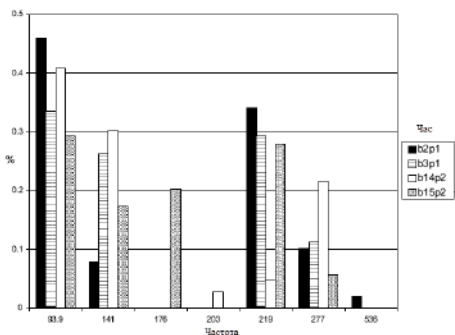


Рис. 4. – Частотна діаграма до другого експерименту

Перепади енергії, що супроводжуються зміною параметрів на графіках та гістограмах вказують на необхідність обробки сигналів з допомогою методів, розроблених для нестационарних процесів, таких як ВП. Таким чином, ми шукаємо показники, які встановлять залежність з енергією.

Ми використовуємо метод ВП, оскільки кожен пакет містить інформацію про сигнал, залежність частоти від часу. Застосовуючи даний метод, ми отримуємо коефіцієнти за якими, зможемо розрахувати потужність за формулою 8.

$$P = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N c_j^2 \tag{8}$$

$c_j$  – коефіцієнт ВП в зазначеному діапазоні,  $N$  – число коефіцієнтів. Щоб розподілити сигнал по рівням, ми використали батьківську вейвлет-функцію (Вейвлет Хаара). Після розкладання сигналу, обираємо кращий базис. Ми шукали базис з мінімальною ентропією ВП, для перетворення коефіцієнтів. Далі використовуємо модель рівняння Шеннона – Вивера (Shanon-Weaver model) для обчислення ентропії, що зводиться до рівняння 9.

$$S = - \sum_i p_i \log p_i \tag{9}$$

Де  $p_i$ :

$$p_i = \frac{c_i^2}{NP} \tag{10}$$

На рис. 5 та рис. 6, зображено напівалгорифмічні графіки, які відображають ситуацію в попередньо проведених експериментах, але розрахованих та відображених за новою системою розрахунку. Можна помітити, що графіки нагадують попередні. Але різниця полягає в тому, що представлені нижче - значно посилені. Іншим важливим моментом є те, що обчислення потужності здійснюється з фіксованим часовим вікном і не залежить від загальної тривалості подій, як в попередньому випадку.

Це зручно для розрахунку інших показників, які доповнюються або посилюються, встановлення залежності параметрів та енерговитрат добре себе зарекомендувала. Зміна частот відображається та вказує індикатору на розподіл частот.

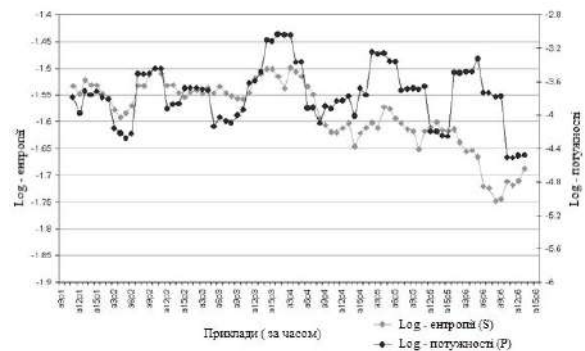


Рис. 5 – Результати першого експерименту розраховані за методом ВП

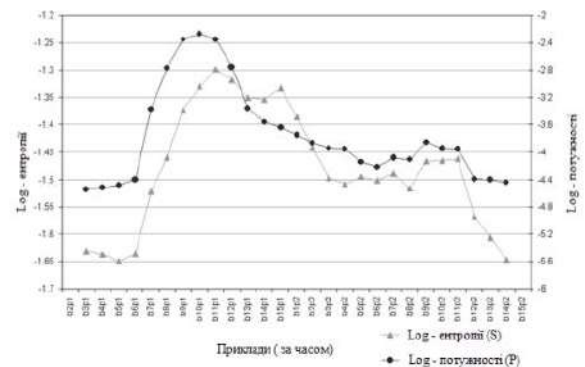


Рис. 6 – Результати другого експерименту розраховані за методом ВП

Порівнюючи результати одних й тих самих експериментів, але обрахованих за різними методами, то одразу помітно, що система ВП, є більш досконалою, а результати несуть більше інформації, встановлюють більш широкі та точні залежності з інформативними параметрами системи обробки. Це

дозволяє робити подальші розрахунки більш точними та надійними.

### Висновки

Параметр енергії в зв'язці з параметрами АЕ є показником зносу інструменту. Коли ми реєструємо пікові сигнали, відбувається зміна в поведінці інших параметрів, що приводить до відхилення роботи системи. Інформативні параметри АЕ можуть встановлювати залежність з енерговитратами обладнання, що дає досить точні результати. Недоліком можна вважати, те що всі ці параметри та їх поєднання є чутливим до умов експлуатації, та потребує ретельного догляду за обладнанням.

Потужність розраховується за коефіцієнтами ВП в обраному діапазоні частот і являється гарним індикатором стану інструменту. Відображення зносу інструменту зображено в проведених тестах, ми бачимо максимальні й мінімальні значення у різних тестах, дані параметри та тести були збережені, в наших планах на наступні роки є впровадження бази коефіцієнтів та побудови для неї нейромережі на базі нечітких методів прогнозування.

Це дозволить розробити гнучку систему автоматичного контролю, яка буде відстежувати стан інструменту, відображати періоди підвищеного зносу інструменту, проводити аналіз даних та надавати своєчасні рекомендації, що до часу роботи до наступного втручання в систему, впроваджувати більш ефективні режими обробки.

Дані напрацювання вже зараз дозволяють, проводити моніторинг стану інструменту, що дозволить підприємству підвищити продуктивність та покращити економічні показники.

### Список літератури

- 1 **Heiple, C. R.** Origin of Acoustic Emission produced during single point machining / **C. R. Heiple, S. H. Carpenter, D. L. Armentrout and A. Mc Manigle** // *Materials Evaluation*. – 1994. – 52. – 590-596.
- 2 **Kamarthi, S. V.** Flank wear estimation in turning through wavelet representation of Acoustic Emission signals / **S. V. Kamarthi, S.R.T. Kumara, and P.H. Cohen** // *Journal of Manufacturing Science and Engineering*. – 2000. – 122. – 12-19. – doi:10.1115/1.538886
- 3 **Kannatey-Asibu, Jr. E.** Quantitative Relationships for Acoustic Emission from Orthogonal Metal Cutting / **Jr. E. Kannatey-Asibu and D. A. Dornfeld** // *Journal of Engineering for Industry*. – 1981. – 103. – 330-340. – doi:10.1115/1.3184493
- 4 **Mallat, S.** Multiresolution Representation and Wavelets. – Grasp. Lap 153. – University of Pennsylvania. – Philadelphia. – 1988.
- 5 **Meyer, Y.** Wavelets: Algorithms and Applications. – SIAM. – Philadelphia. – 1993.
- 6 **Jamaludin, N.** Condition Monitoring of Slow-speed Rolling Element Bearings using Stress Waves / **N. Jamaludin, R. H. Bannister** // *Proc. Inst. Mech. Eng.* – 2001. – 215. – 245-271.

- 7 **Ono, K.** New Characterization Methods of AE Sensors / **K. Ono, H. Cho, and T. Matsuo** // *JAE*. – 2010. – 28. – 256.
- 8 **Zhang, L. J.** Morphological Undecimated Wavelet and Its Application to Feature Extraction of Impulsive Signal / **L.J. Zhang, J. H. Yang, J. W. Xu, D. B. Yang** // *Shock Vibr.* 2007. – 26. – 56-59. – doi: 10.1109/CISP.2009.5303712.
- 9 **He, Y. Y.** Acoustic Emission characteristics of Rub-impact for Rotor-bearing System Based on Wavelet Scalogram / **Y. Y. He, X. Y. Yin, F. L. Chu** // *Chin. J. Mech. Eng.* – 2007. – 43. – 149-153. – doi: 10.3901/JME.2007.06.149.
- 10 **Li, Z.** Bearing condition monitoring based on shock pulse method and improved redundant lifting scheme / **Z. Li, Z. J. He, Y. Y. Zi, X. F. Chen** // *Math. Comput. Simulat.* – 2008. – 79. – 318-338. – doi: 10.1016/j.matcom.2007.12.004.
- 11 **Остафьев, В. А.** Адаптивная система управления / **В. А. Остафьев, Г. С. Тымчик, В. В. Шевченко** // *Механизация и автоматизация управления*. – 1983. – №1. – с. 18-20.
- 12 **Шевченко, В. В.** Система автоматической размерной настройки ГПС / **В. В. Шевченко, Н. А. Симута, А. А. Скороход**. – Киев. – 2014. – с. 7-10.
- 13 **Заець, С. С.** Система прогнозування стану процесу механічної обробки / **С. С. Заець, І. В. Максимчук, К. О. Пелько**. // *Науковий вісник КВЕИТУ*. – 2012.
- 14 **Reininger, T.** Sensors in position control applications for industrial automation / **T. Reininger, F. Welker, M. von Zeppelin** // *Sens. Act. A*. – 2006. – 129. – 270-274. – doi: 10.1016/j.sna.2005.09.056.
- 15 **Leroy, P.** An ac/dc magnetometer for space missions: Improvement of a Hall sensor by the magnetic flux concentration of the magnetic core of a searchcoil / **P. Leroy, C. Coillot, V. Mosser, et al.** // *Sens. Act. A*. – 2008. – 142. – 503-510. – doi: 10.1016/j.sna.2007.08.030.
- 16 **Bukkapatnam, S. T. S.** Analysis of acoustic emission in machining / **S. T. S. Bukkapatnam, S. R. T. Kumara, and A. Lakhtakia** // *ASME Transactional Journal of Manufacturing Science and Engineering*. – 2003. – vol. 121. – p.568-573. – doi: 10.1016/S0041-624X(99)00126-2.
- 17 **Kumara, S. R. T.** Sensor based of monitoring for real time quality control in manufacturing / **S. R. T. Kumara, S. V. Kamarthi, S. T. S. Bukkapatnam, and J. W. Lee** // *ASME Transactional Journal of Dynamic System. –Measurements and Control*. – 2000. – vol. 122. – 89-94.

### Bibliography (transliterated)

- 1 **Heiple, C. R., Carpenter, S. H., Armentrout, D. L. and Mc Manigle, A.** Origin of Acoustic Emission produced during single point machining, *Materials Evaluation*, 1994, **52**, 590-596.
- 2 **Kamarthi, S. V., Kumara, S. R. T., and Cohen, P. H.** Flank wear estimation in turning through wavelet representation of Acoustic Emission signals, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 2000, **122**, 12-19. doi:10.1115/1.538886.
- 3 **Kannatey-Asibu, Jr. E. and Dornfeld, D. A.** Quantitative Relationships for Acoustic Emission from Orthogonal Metal Cutting, *Journal of Engineering for Industry*, 1981, **103**, 330-340. doi:10.1115/1.3184493.
- 4 **Mallat, S.** Multiresolution Representation and Wavelets, Grasp. Lap 153, University of Pennsylvania, Philadelphia, 1988.
- 5 **Meyer, Y.** Wavelets: Algorithms and Applications, SIAM, Philadelphia, 1993.

- 6 **Jamaludin, N., Bannister, R. H.** Condition Monitoring of Slow-speed Rolling Element Bearings using Stress Waves. *Proc. Inst. Mech. Eng.* 2001, **215**, 245-271.
- 7 **Ono, K., Cho, H., and Matsuo, T.** New Characterization Methods of AE Sensors, *JAE*, 2010, **28**, 256.
- 8 **Zhang, L. J., Yang, J. H., Xu, J. W., Yang, D. B.** Morphological Undecimated Wavelet and Its Application to Feature Extraction of Impulsive Signal. *Shock Vibr.* 2007, **26**, 56-59. doi: 10.1109/CISP.2009.5303712.
- 9 **He, Y. Y., Yin, X. Y., Chu, F. L.** Acoustic Emission characteristics of Rub-impact for Rotor-bearing System Based on Wavelet Scalogram. *Chin. J. Mech. Eng.* 2007, **43**, 149-153. doi: 10.3901/JME.2007.06.149.
- 10 **Li, Z., He, Z. J., Zi, Y. Y., Chen, X. F.** Bearing condition monitoring based on shock pulse method and improved redundant lifting scheme. *Math. Comput. Simulat.* 2008, **79**, 318-338. doi: 10.1016/j.matcom.2007.12.004.
- 11 **Ostafiev, V. A., Tymchik, G.S., Shevchenko, V.V.** Adaptive control system. *Mechanization and automation of management*. 1983, No. **1**, 18-20.
- 12 **Shevchenko, V. V., Simuta, N. A., Skorokhod, A. A.** The system of automatic dimensional adjustment of GPS. Kiev, 2014, 7-10.
- 13 **Zayats, S. S.** System forecasting of process of machining / **S. S. Zayats, I. V. Maksymchuk, K. O. Pedko** // *Scientific Herald KUEITU*. - 2012.
- 14 **Reininger, T., Welker, F., von Zeppelin, M.** Sensors in position control applications for industrial automation, *Sens. Act. A*, 2006, **129**, 270-274. doi: 10.1016/j.sna.2005.09.056.
- 15 **Leroy, P., Coillot, C., Mosser, V., et al.**: An ac/dc magnetometer for space missions: Improvement of a Hall sensor by the magnetic flux concentration of the magnetic core of a searchcoil. *Sens. Act. A*, 2008, **142**, 503-510. doi: 10.1016/j.sna.2007.08.030.
- 16 **Bukkapatnam, S. T. S., Kumara, S. R. T., and Lakhtakia, A.** Analysis of acoustic emission in machining, *ASME Transactional Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 2003, vol. **121**, 568-573. doi: 10.1016/S0041-624X(99)00126-2.
- 17 **Kumara, S. R. T., Kamarthi, S. V., Bukkapatnam, S. T. S., and Lee, J. W.** Sensor based of monitoring for real time quality control in manufacturing, *ASME Transactional Journal of Dynamic System, Measurements and Control*, 2000, vol. **122**, 89-94.

## Відомості про авторів (About authors )

**Шевченко Вадим Володимирович** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», виконуючий обов'язки завідувача кафедри виробництва приладів, м. Київ, Україна; e-mail: vp@kpi.ua.

**Vadim Shevchenko** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Associate Professor, Department of Instrumentation Design and Engineering, «National Technical University of Ukraine Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine; e-mail: vp@kpi.ua.

**Заєць Сергій Сергійович** – асистент кафедри виробництва приладів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна; e-mail: zss\_vp@bigmir.net.

**Sergey Zayats** – Assistant, Department of Instrumentation Design and Engineering, «National Technical University of Ukraine Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine; e-mail: zss\_vp@bigmir.net.

**Олінійчук Антон Ігорович** – магістрант кафедри виробництва приладів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна; e-mail: a.oliniychuk@gmail.com.

**Anton Oliniychuk** – Master's degree student, Department of Instrumentation Design and Engineering, «National Technical University of Ukraine Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine; e-mail: a.oliniychuk@gmail.com.

*Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:*

**Шевченко, В. В.** Аналіз акустичної емісії в процесах механічної обробки з використанням вейвлет – пакетів / **В. В. Шевченко, С. С. Заєць, А. І. Олінійчук** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 7 (1229). – С. 233-238. – doi:10.20998/2413-4295.2017.07.33.

*Please cite this article as:*

**Shevchenko, V., Zayats, S., Oliniychuk, A.** Analysis of acoustic emission in the processes of machining using wavelet packets. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **7** (1229), 233-238, doi:10.20998/2413-4295.2017.07.33.

*Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:*

**Шевченко, В. В.** Анализ акустической эмиссии в процессах механической обработки с использованием вейвлет-пакетов / **В. В. Шевченко, С. С. Заєць, А. И. Олінійчук** // *Вестник НТУ «ХПІ»*, Серія: *Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 7 (1229). – С. 233-238. – doi:10.20998/2413-4295.2017.07.33.

**АННОТАЦІЯ** В даній роботі були проведені дослідження акустическої емісії (АЕ) в рамках моніторинга процесів механіческої обробки. АЕ неопосредственно зв'язана с состоянием инструмента, так как акустическая волна генерируется за счет пластической деформации, истиранию, разрушения и распространение трещин. В исследовании, опубликованном в данной работе были измерены несколько параметров АЕ во время механообработки. В то время как эти параметры указывают на степень износа режущего инструмента, их информативность для промышленного использования ограничена. Для получения большей информативности была использована теорема Вейвлет-пакетов, с помощью которой мы ввели дополнительные коэффициенты энтропию и силу. Получили адекватную модель для определения состояния инструмента.

**Ключевые слова:** акустическая эмиссия; вейвлет-пакеты; энтропия; механическая обработка; анализ АЕ

Надійшла (received) 28.02.2017