

Д. О. Мітєв, В. М. Кропівний, проф., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: mitevdima@gmail.com

## Методичні основи створення вимірювального комплексу для реєстрації сигналів акустичної емісії при механічній обробці

Представлено методичні основи створення вимірювального комплексу для реєстрації сигналів акустичної емісії під час механічної обробки металів. Розглянуто принципи виникнення акустичної емісії та їх зв'язок із параметрами різання, що дозволяє здійснювати моніторинг стану інструмента та оптимізувати технологічний процес. Експериментальні дослідження підтверджують ефективність використання акустичної емісії для своєчасного виявлення перевантажень і прогнозування зносу, відкриваючи перспективи для впровадження автоматизованих систем контролю процесу механічної обробки металевих матеріалів.

**акустична емісія, механічна обробка, п'єзоелектричний датчик, підсилювач сигналів, аналого-цифровий перетворювач, спектральний аналіз, амплітудний аналіз, онлайн-моніторинг**

**Постановка проблеми.** В умовах сучасного машинобудування та металообробки гостро постає завдання підвищення ефективності виробничих процесів, зокрема процесів точіння, фрезерування та свердління. Новітні алгоритми цифрової обробки сигналів, зокрема методи спектрального аналізу, дозволяють забезпечити ефективну діагностику процесу різання. Одним із перспективних підходів до діагностики та контролю стану процесу різання металів є використання результатів вимірювання акустичної емісії (АЕ). Акустична емісія є явищем випромінювання високочастотних коливань у твердих тілах під час їх структурної перебудови в процесі пружної деформації, зародження й поширення тріщин, тертя та пластичного плину. Процеси стружкоутворення при механічній обробці металевих матеріалів завжди супроводжуються виникнення АЕ.

Для механічної обробки металів важливо розуміти, коли і за яких умов у зоні різання виникає максимальний рівень акустичних сигналів, адже це може свідчити про надмірне навантаження на інструмент, пластичне зсування, зародження та розвиток мікротріщин. У дослідженнях, присвячених діагностиці процесу різання за допомогою АЕ, встановлено, що характер та інтенсивність сигналів АЕ можуть корелювати з такими параметрами, як швидкість різання, глибина різання, подача, стан інструмента, дія мастильно-охолоджувальних рідин, механічні властивості заготовки тощо. Аналіз сигналів АЕ дає можливість проводити моніторинг дотримання оптимальних умов різання, наявності пористості та дефектів термічної обробки тощо.

Актуальність даної роботи зумовлена потребою в удосконаленні методів контролю АЕ для управління процесами механічної обробки конструкційних металів з метою отримання деталей зі стабільною надійністю та точністю. Дослідження частоти та амплітуди сигналу АЕ в діапазоні 100–700 кГц, що виникає при деформуючому проникненні ріжучої кромки інструменту в оброблюваний матеріал, є важливою задачею як з наукової, так і з практичної точки зору.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Акустична емісія (АЕ) – це явище випромінювання хвиль пружної деформації в твердому тілі, які виникають унаслідок

внутрішніх процесів руйнування чи переміщення дислокацій та їх двійникування, протікання фазових перетворень..

Основні причини виникнення АЕ у металевих матеріалах з розвитком наступних процесів:

- пластична деформація (рух і взаємодія дислокацій) в кристалічних матеріалах;
- утворення мікротріщин та їх розповсюдження;
- тертя та стирання контактуючих поверхонь;
- процеси перебудови кристалічної ґратки та утворення в мікроструктурі нових фаз.

Процес різання металів полягає у локальному пластичному та/або пружному деформуванні шару металу ріжучим інструментом з метою відокремлення стружки. При контакті інструмента з металевою заготовкою у зоні різання виникають:

- деформація зсуву та пластична деформація. Рух дислокацій у кристалічній решітці металу призводить до виникнення високочастотних коливань.

- тертя і мікроудари між поверхнею різця та стружкою; зокрема, в зоні тертя можуть утворюватися локальні «нарости» з наступним їх руйнуванням, що є джерелом АЕ.

- утворення мікротріщин на кромці інструмента та у поверхневих шарах заготовки. Особливо це помітно при чорновій обробці високоміцних матеріалів чи при обробці зі значними ударними навантаженнями.

При цьому в зоні контакту між ріжучою кромкою та заготовкою виникають значні напруження й температури, а також можливі структурні зміни матеріалу. Процес стружкоутворення супроводжується мікроруйнуваннями в зоні різання, переміщенням дислокацій, пластичними зсувами, процесами тертя, утворенням сигналів акустичної емісії. У процесі різання металів має місце інтенсивне теплоутворення [1–3]. Високе механічне та теплове навантаження на інструмент та заготовку створює суттєвий вплив на фазові та мікроструктурні перетворення, зміну фізико – механічних властивостей матеріалу в мікрооб’ємах обробленої поверхні заготовки, що суттєво впливає на параметри АЕ [4–6]. Спосіб механічної обробки (з використанням мастильно-охолоджуючої рідини або без неї, різні геометрії різця, різні марки матеріалу твердосплавних пластин) суттєво впливають на параметри АЕ. Зокрема, охолодження зменшує температуру в зоні різання, що знижує інтенсивність пластичної деформації та тертя. Унаслідок цього зменшується загальний рівень амплітуди АЕ, тоді як піки у спектрі можуть ставати чіткішими, що пов’язано зі зменшенням фонових шумів від тертя.

За даними низки досліджень [7–9], основний діапазон частот АЕ при різанні металів лежить у межах 100–700 кГц. Саме в цьому діапазоні переважно відбуваються коливання, пов’язані зі згаданими механізмами руйнування та деформації. Амплітуди сигналів можуть варіюватися залежно від:

- твердості, в’язкості та суцільності матеріалу;
- геометрії робочої частини різального інструмента;
- швидкості різання і подачі.

На характеристики акустичної емісії при основних способах обробки різанням основний вплив створюють параметри режиму різання:

- зі зростанням швидкості різання збільшується швидкість утворення та видалення стружки, що посилює процеси пластичної деформації та тертя. Це може спричинити зміщення основного спектру АЕ у вищу частотну зону [10];

- при збільшенні глибини різання збільшується об’єм деформованого матеріалу, що зумовлює підвищення інтенсивності сигналів АЕ та їх амплітуди;

- збільшення подачі призводить до зростання поперечного перерізу зрізуваної стружки, а також до збільшення сили різання та інтенсивності деформування;

- затуплення інструмента або наявність мікрОВикришувань ріжучої кромки сприяє нерівномірному тертю та збільшенню амплітуди АЕ.

Сучасні методи аналізу АЕ базуються на використанні п'єзоелектричних датчиків високої чутливості, що встановлюються на інструмент або деталь (заготовку). Датчики конвертують пружні коливання в електричні сигнали, які потім піддаються підсиленню, фільтрації та аналізу. Для обробки сигналів АЕ застосовують методи спектрального аналізу (метод Фур'є), вейвлет-аналіз, часово-амплітудний аналіз [11–13]. Важливою особливістю вимірювальних систем для АЕ є високочастотний діапазон (зазвичай від десятків до сотень кГц), а також необхідність захисту від завад та попередження втрат сигналу при його передаванні від сенсора до реєструючої апаратури [14]. Висока частота сигналів АЕ дозволяє виключити вплив на результати вимірювань низькочастотних коливань, ударних процесів та вібрацій, які утворюються при роботі механізмів механообробного обладнання.

**Постановка завдання.** Метою дослідження є розробка методики та експериментальної установки для дослідження спектру акустичної емісії, що виникає у зоні різання металу та встановлення залежності частотно-амплітудних характеристик сигналів АЕ від особливостей механічної обробки та умов і режимів різання.

**Виклад основного матеріалу.** До основних завдань розробки відноситься:

1. Розробка вимірювального комплексу для реєстрації сигналів АЕ від ріжучого інструмента чи оброблюємої заготовки в залежності від виду обробки.

2. Проведення експериментальних досліджень сигналів АЕ в діапазоні 100–700 кГц, які виникають при механічній обробці металевих матеріалів.

3. Проведення частотного та амплітудного аналізу одержаних сигналів АЕ, визначення їх залежності від режимів різання та фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу.

Розроблюваний експериментальний комплекс для вимірювання параметрів АЕ має забезпечувати:

- проведення реєстрації та аналізу сигналів акустичної емісії у діапазоні 100–700 кГц під час механічної обробки металевих заготовок;

- здійснення оперативного контролю процесу різання (виявлення перевантаження інструменту, ступінь розвитку деформаційних процесів при формуванні стружки), а також моніторинг стану металорізального інструменту, зокрема, зношення, викришування тощо.

Об'єктом контролю АЕ на перших етапах дослідження обрано прохідні токарні різці із твердосплавними пластинами, які встановлювалися у різцетримачі токарного верстату. Опорний датчик АЕ в залежності від виду обробки може бути встановлений як на інструменті так і безпосередньо на заготовці.

Експериментальний комплекс для вимірювання параметрів АЕ має містити наступні вузли.

1) П'єзоелектричний датчик АЕ із центральною частотою в межах 200–300 кГц і смугою пропускання 100–700 кГц. Критерії вибору датчика: висока чутливість (>50–55 дБ), доступність монтажних аксесуарів (тримаючі пружини, клейові адаптери), стійкість до дії мастильно-охолоджувальних рідин.

2) Підсилювач сигналів АЕ з коефіцієнтом підсилення від 40 до 60 дБ та із низьким рівнем шумів.

3) Високо швидкісний аналого-цифровий перетворювач (АЦП) зі швидкістю дискретизації не менше ніж 2 МГц, що дозволить забезпечити достовірну оцифровку сигналів у діапазоні до 700 кГц з розрядністю 8-12–16 біт.

4) Високочастотний фільтр чи смуговий фільтр сигналів АЕ з діапазоном у межах 100–700 кГц.

5) Комп'ютерна система збору й обробки даних на основі DAQ-карти чи автономного реєстратора з використанням програмного забезпечення з функціями спектрального аналізу. Система повинна мати опції синхронізації з системою числового програмного керування металообробного обладнання для маркування даних про режим різання ( $v$ ,  $s$ ,  $t$ ).

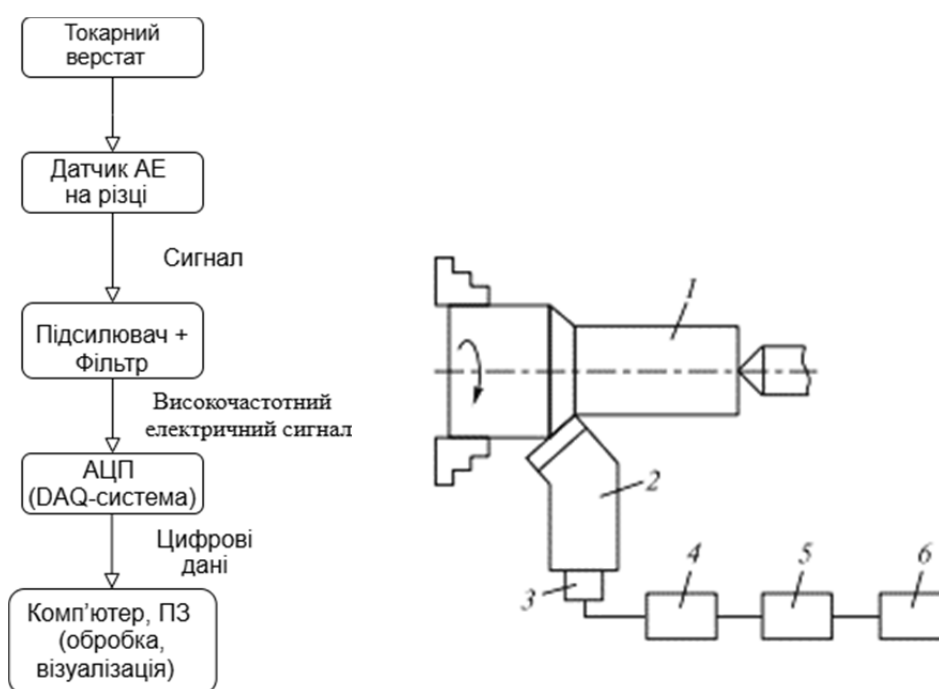


Рисунок 1 – Схема і блок-схема експериментальної установки для дослідження спектру акустичної емісії, що виникає у зоні різання металу:

1 – заготовка; 2 – різець; 3 – пьезоелектричний датчик; 4 – підсилювач; 5 – АЦП; 6 – комп'ютер

Джерело: розроблено авторами

На рис.1 наведено блок-схему вимірювального комплексу, що ілюструє послідовність обробки сигналу акустичної емісії під час токарної обробки металу. Вимірювальний комплекс забезпечує онлайн-моніторинг процесу різання та дозволяє ідентифікувати зміни в процесі різання та виявляти аномальні режими. Зона контакту різця із заготовкою на токарному верстаті є джерелом утворення акустичної емісії, яка у вигляді пружних хвиль через державку різця передається до датчика - п'єзоелектричного сенсора закріпленого безпосередньо на різці. Датчик АЕ сприймає високочастотні коливання і перетворює їх у відповідний електричний сигнал. Утворений слабкий високочастотний сигнал від датчика поступає електронний модуль, до складу якого входить підсилювач на 40–60 дБ та фільтр, який відсікає непотрібні частоти за допомогою вбудованих або зовнішніх фільтрів (HPF/LPF). В результаті такої

обробки формується вихідний аналоговий сигнал із відповідною амплітудою та чистотою для подальшого аналізу. Сигнал подається до DAQ-системи - аналого-цифрового перетворювача (АЦП), який оцифровує посилений електричний сигнал. Перетворювач забезпечує високу частоту дискретизації до 1–2 МСемпл/с, щоб захоплювати імпульси АЕ у діапазоні 100–600 кГц, та передає отримані цифрові дані на комп'ютер, який здійснює аналіз сигналів (спектральний, часово-амплітудний), фільтрацію, збереження результатів і формування звітів. У якості комп'ютера застосовано ноутбук із програмним забезпеченням для обробки й візуалізації цифрових даних.

Експериментальна установка складається з таких основних компонентів.

1. Токарно - гвинторізний верстат 1И611П, з діапазоном швидкостей обертання шпинделя від 20 до 2000 об/хв та регульованою подачею.

2. Прохідний токарний різець з напаяною пластинкою з твердого сплаву Т15К6. На обробленому торці державки прохідного різця на відстані 100 мм від робочої кромки монтується датчик АЕ.

3. П'єзоелектричний датчик АЕ. Вибір датчика Vallen VS150-M здійснено на основі його робочої частоти 100 – 600 кГц, чутливості та розмірів. Для монтажу датчика використовували акустичний контактний гель Couplant D.



Рисунок 2 – П'єзоелектричний датчик АЕ

4. Підсилювач акустичних сигналів з вбудованою або зовнішньою системою фільтрації моделі PAC 2/4 Preamp (40–60 дБ).

5. DAQ-система обробки даних National Instruments NI USB-6361 (2 МСемпл/с), яка має достатню пропускну здатність USB або PCIe, щоб записувати дані у реальному часі без пропусків.



Рисунок 3 – Підсилювач акустичних сигналів PAC 2/4 Preamp

6. Комп'ютер з програмним забезпеченням для аналізу сигналів Matlab та спеціалізоване ПЗ для спектрального аналізу сигналів АЕ. Для проведення частотного аналізу сигналів АЕ застосовано перетворення Фур'є (FFT — Fast Fourier Transform). Така обробка здійснюється за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення (MATLAB з пакетом Signal Processing Toolbox, LabVIEW із Spectral Measurements Toolkit, або Python з бібліотеками NumPy/SciPy), що дозволяє виконувати швидко перетворення Фур'є та будувати спектр. Отримані спектри дають змогу виявити наявність «піків» у певних частотних діапазонах.

Перевірка роботи експериментального комплексу для вимірювання параметрів АЕ проводилася при повздовжньому обточуванні циліндричних заготовок діаметром 30 мм з вуглецевої сталі звичайної якості Ст.3сп (ДСТУ 2651-94). Прохідний токарний різець із встановленим на ньому датчиком АЕ закріплювався в чотирьохпозиційному різцетримачі токарного верстата. Перед початком різання проводився запуск програмного забезпечення для реєстрації сигналу АЕ з виставлянням необхідних параметрів (частота дискретизації, тривалість запису, фільтри заданого частотного діапазону). При проведенні точіння на обраних режимах різання, паралельно здійснювався безперервний запис сигналів АЕ. Зібрані дані піддавалися спектральному аналізу з проведенням швидкого перетворення Фур'є, аналізу амплітудно-часових параметрів, порівнянню результатів отриманих на різних режимах.

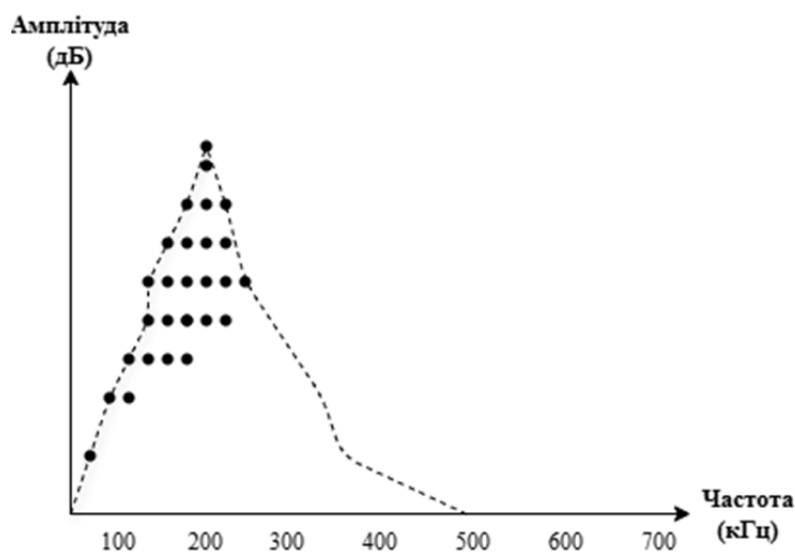


Рисунок 4 – Спектр сигналу АЕ

(значком «\*» символічно позначено енергетичну щільність на різних частотах)

*Джерело: розроблено авторами*

На рис. 4 наведено оброблений спектр сигналу АЕ в логарифмічному масштабі по осі амплітуди.

Отримані результати вимірювання спектру сигналів АЕ за результатами оцифрування піддавали амплітудному аналізу, який дає можливість отримати часовий ряд та відстежувати зміни амплітуди з високою роздільністю. Амплітудний аналіз дозволяє оцінити «силу» сигналів АЕ. Амплітуду сигналів АЕ виражали у децибелах (дБ) відносно певного базового рівня або у вольтах (В) на виході

підсилювача. За результатами амплітудного аналізу сигналу АЕ встановлювалися наступні показники, які в подальшому використовувалися для аналізу процесів механічної обробки металевих матеріалів:

- пікова амплітуда (Peak Amplitude) — найбільше миттєве значення сигналу в часі;
- середньоквадратичне значення амплітуди (RMS) — кількісний вимір енергії сигналу в амплітудній шкалі;
- середня амплітуда (Average) — усереднене значення (корисно для оцінювання «типового» рівня АЕ в конкретному режимі різання).

Проведення амплітудного аналізу передбачає фільтрацію шумів, оскільки високочастотні коливання та паразитні завади можуть зростати і впливати на справжні піки сигналу АЕ. Для проведення фільтрації шумів застосовували порогову обробку, завдяки якій імпульси, амплітуда яких нижча певного рівня (наприклад, шумового фону), ігнорували як несуттєві. При цьому приймали за «фонову» інтенсивність АЕ середній фоновий рівень в межах 40–45 дБ. Процеси пластичної деформації металу заготовки в зоні різання, супроводжувалися епізодичними імпульсами АЕ з рівнем до 55–65 дБ. Сплески з рівнем понад 60 дБ (рис.5) можливо пояснити зривом наросту з передньої поверхні різця.

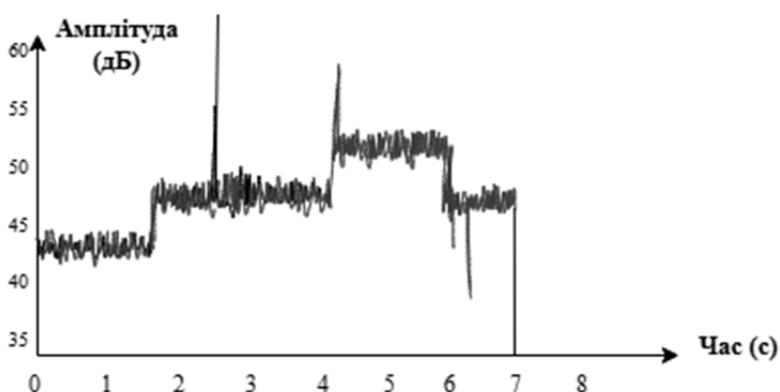


Рисунок 5 – Зміна амплітуда сигналу АЕ (дБ) при зміні глибини різання

*Джерело: розроблено авторами*

При зміні режимів різання (швидкість, глибина різання, подача) спостерігалось різке підвищення амплітуди сигналів. Як правило, критичні зони (наприклад, при виході інструмента на максимальне навантаження, або при початку «заглиблення» інструмента) супроводжуються різким зростанням амплітуди до 10–20 дБ вище середнього рівня.

В ході випробовування експериментальної установки підтверджено зміщення піків у вищу частотну ділянку при збільшенні швидкості різання. При зростанні швидкості різання формується тонша стружка з більшою швидкістю зсуву, що підсилює утворення дислокацій і мікророзривів, а отже збільшує інтенсивність АЕ. Збільшення глибини різання веде до зростання сили різання, що веде до зростання амплітуди сигналів АЕ. Підвищення повздовжньої подачі супроводжується вищими імпульсними значеннями (піковими амплітудами), зростанням кількості піків у діапазоні більш високих частот.

Особливості параметрів токарної обробки, наприклад, подача в зону різання мастильно-охолоджуючої рідини або зміна геометрії ріжучої частини різця створюють помітний вплив на параметри АЕ. Зокрема, при подачі мастильно-охолоджуючої рідини охолодження спостерігається зменшення загального рівня амплітуди АЕ, тоді як піки у спектрі стають чіткішими, що пов'язано зі зменшенням фонових шумів від тертя. При значному затупленні інструменту інтенсифікуються процеси тертя на ділянці зношеної ріжучої кромки різця, що веде до генерації додаткових шумів в діапазоні частот АЕ та імпульсів великої амплітуди.

Важливим практичним наслідком результатів дослідження є можливість створення системи онлайн-моніторингу, яка б автоматично визначала перевантаження інструмента або наявність критичних умов для різання (зростання температури, появу вібрацій, розвиток тріщин на ріжучій частині інструменту).

**Висновки.** Розроблено технічне завдання для створення експериментальної установки з реєстрації та аналізу сигналів акустичної емісії в діапазоні 100–700 кГц під час точіння металу. Отримано спектральні та амплітудні характеристики сигналів АЕ для різних режимів різання. Встановлено, що збільшення швидкості різання зміщує основні піки у вищу частотну область, а також призводить до зростання середньої амплітуди сигналів. Доведено вплив геометрії різця та зношення інструмента на структуру сигналів АЕ: при зношенні зростає амплітуда та збільшується кількість високочастотних імпульсів. Практична цінність полягає в можливості застосування акустичної емісії для моніторингу стану різального інструмента та прогнозування передчасного руйнування. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розробку системи автоматизованого аналізу АЕ-сигналів у реальному часі із застосуванням методів машинного навчання для класифікації режимів різання та стану інструмента.

## Список літератури

1. Маковецький О. С. Механіка різання металів. К.: Наукова думка, 2015. 320 с.
2. Kalpakjian S., Schmid S. R. Manufacturing Processes for Engineering Materials. 6th ed. Pearson, 2016.
3. Trent E. M., Wright P. K. Metal Cutting. 4th ed. Butterworth-Heinemann, 2000.
4. Hase A., Kitajima T., Ogawa T. Analysis of acoustic emission during orthogonal cutting of mild steel . *Journal of Materials Processing Technology*. 2014. 214. P. 1758–1766.
5. Li X. A brief review: acoustic emission method for tool wear monitoring during turning . *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 2002. 42. P. 157–165.
6. Шипунов Г. Д., Томашевський В. М., Кожевников В. А. Контроль і діагностика процесу різання методом акустичної емісії . *Вісник НТУ "ХПИ"*. 2018. № 4. С. 67–72.
7. Pawar P. J., Joshi S. S. Analysis of acoustic emission signals and surface texture generated in turning process of metal matrix composites . *Journal of Materials Processing Technology*. 2010. 210. P. 1641–1651.
8. Чорний М. В. Акустико-емісійні методи контролю в технічній діагностиці. Львів: Видавництво ЛП, 2019. 298 с.
9. Hashimoto F. Industrial Tool Wear . *CIRP Encyclopedia of Production Engineering*. Springer, 2014.
10. Phadke A. M. Quality Engineering Using Robust Design. Prentice Hall, 1989.
11. Al-Ghamd A., Mba D. A comparative experimental study on the use of acoustic emission and vibration analysis for bearing defect identification and estimation of defect size . *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2006. 20. P. 1537–1571.
12. Dornfeld D. A., Lee D. E. Precision Manufacturing. Springer, 2007.
13. Aggelis D. G. Classification of cracking mode in concrete by acoustic emission parameters . *Mechanics Research Communications*. 2011. 38(3). P. 153–157.
14. Holroyd T. J. Acoustic Emission & Ultrasonic Inspection in Condition Monitoring and Acoustic Emission. Coxmoor Publishing, 2002.



## References

1. Makovetskyi, O. S. (2015). *Mechanics of Metal Cutting*. Kyiv: Naukova Dumka. 320 [in Ukrainian].
2. Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2016). *Manufacturing Processes for Engineering Materials*. (6th ed.). Pearson.
3. Trent, E. M., & Wright, P. K. (2000). *Metal Cutting*. (4th ed.). Butterworth-Heinemann [in English].
4. Hase, A., Kitajima, T., & Ogawa, T. (2014). Analysis of acoustic emission during orthogonal cutting of mild steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 214, 1758–1766.
5. Li, X. (2002). A brief review: acoustic emission method for tool wear monitoring during turning. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 42, 157–165.
6. Shipunov, G. D., Tomashevskyi, V. M., & Kozhevnykov, V. A. (2018). Control and Diagnosis of the Cutting Process by the Acoustic Emission Method. *Bulletin of NTU “KhPI”*, 4, 67–72 [in Ukrainian].
7. Pawar, P. J., & Joshi, S. S. (2010). Analysis of acoustic emission signals and surface texture generated in turning process of metal matrix composites. *Journal of Materials Processing Technology*, 210, P. 1641–1651.
8. Chorny, M. V. (2019). *Acoustic Emission Methods for Control in Technical Diagnostics*. Lviv: LP Publishing [in Ukrainian].
9. Hashimoto, F. (2014). Industrial Tool Wear. *CIRP Encyclopedia of Production Engineering*. Springer.
10. Phadke, A. M. (1989). *Quality Engineering Using Robust Design*. Prentice Hall.
11. Al-Ghamd, A., & Mba, D. (2006). A comparative experimental study on the use of acoustic emission and vibration analysis for bearing defect identification and estimation of defect size. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 20, 1537–1571.
12. Dornfeld, D. A., & Lee, D. E. (2007). *Precision Manufacturing*. Springer.
13. Aggelis, D. G. (2011). Classification of cracking mode in concrete by acoustic emission parameters. *Mechanics Research Communications*, 38(3), 153–157.
14. Holroyd, T. J. (2002). *Acoustic Emission & Ultrasonic Inspection in Condition Monitoring and Acoustic Emission*. Coxmoor Publishing.

**Dmytro Mitiev, Volodymyr Kropivnyi**, Prof., PhD tech. sci.

*Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine*

### **Methodological Foundations for the Development of a Measurement System for Recording Acoustic Emission Signals during Machining**

The study is aimed at investigating the correlation between AE signals and machining parameters—such as cutting speed, depth, feed rate, and tool condition—in order to optimize the process and predict tool wear. Reliable, real-time monitoring criteria were established to enhance production efficiency and ensure product quality.

To achieve these objectives, an experimental setup was designed and implemented, comprising a piezoelectric sensor (with a central frequency of 200–300 kHz and a passband of 100–700 kHz), an amplifier with a gain of 40–60 dB, and a high-speed analog-to-digital converter operating at a minimum sampling rate of 2 MHz. A computer-based data acquisition system was integrated into the measurement complex to perform both spectral and amplitude analyses of AE signals. Experimental tests were performed on cylindrical workpieces machined on a lathe under varying cutting conditions, with continuous AE signal registration and subsequent Fourier transform analysis. It was demonstrated that an increase in cutting speed shifts dominant frequency peaks to higher ranges and raises the overall amplitude of the AE signals. The experimental setup was also shown to be capable of detecting critical process conditions such as tool overload and early-stage tool wear, thereby laying the groundwork for automated quality control systems in metal machining.

In conclusion, a robust methodological framework for the use of AE signals in machining process monitoring has been established. The developed measurement complex proved effective in capturing and analyzing AE data in real-time, enabling the detection of anomalies and tool degradation. These findings underscore the potential of AE-based monitoring systems to enhance machining accuracy and prolong tool life. Future research is recommended to focus on the integration of machine learning techniques for improved signal classification and further automation of the monitoring process.

**acoustic emission, metal machining, piezoelectric sensor, spectral analysis, amplitude analysis, tool wear monitoring**

*Одержано (Received) 22.02.2025*

*Прорецензовано (Reviewed) 28.02.2025*

*Прийнято до друку (Approved) 14.03.2025*