

АНОТАЦІЯ

Шарко А.О. Автоматизація процесу ідентифікації стану металевих конструкцій в умовах невизначеності характеру навантажень. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». – Херсонський національний технічний університет, Херсон 2020.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню проблеми підвищення ефективності процесів ідентифікації стану металевих конструкцій в умовах невизначеності характеру навантажень за рахунок розробки нових методів і технологій визначення механічних властивостей з метою покращення експлуатаційних характеристик конструкцій в різних режимах роботи згідно вимогам діагностики вітчизняних і закордонних стандартів у тому числі ISO. Інтенсивність використання устаткування, порушення правил експлуатації, циклічні знакозмінні, теплові та інші впливи, враховувати які неможливо, призводять к невизначеності при ідентифікації стану конструкцій.

У роботі виконано аналіз методів та засобів ідентифікації стану металевих конструкцій, визначені фактори, що ускладнюють здійснення автоматизації контролю процесів ідентифікації стану обладнання, його надійності і конкурентоспроможності. Показано, що основні проблеми удосконалення автоматизованих систем ідентифікації стану металевих конструкцій при навантаженні пов'язані не тільки з використанням нових зразків вимірювальної техніки з поліпшеними характеристиками, а полягають в пошуку й нових інформативних параметрів і розробки методичних прийомів обробки інформації про зміни структурного стану середовища. Одним із найбільш перспективних засобів моніторингу стану особо відповідальних об'єктів в процесі їх експлуатації являється використання ефекту акустичної емісії, заснованого на реєстрації хвиль напружень. Дослідження можливостей його використання у системах автоматизації процесу ідентифікації стану металевих конструкцій спрямовано на підвищення експлуатаційних

характеристик устаткування, працюючого у складних умовах.

Такий підхід значно розширює можливості технічних засобів систем ідентифікації металевих конструкцій, зокрема, дозволяє оцінювати поточний стан обладнання і придатність його к подальшої експлуатації без зупинки устаткування у реальному часу.

Представляє інтерес не тільки фіксація руйнувань, але і визначення початкової стадії змін структури матеріалів на безперервно працюючому обладнанні. Для цього необхідно створення моделей, методів і засобів технологічного, інформаційного і математичного забезпечення автоматизації процесу ідентифікації стану металевих конструкцій, які гарантують підвищення їх експлуатаційної надійності.

Доведено, що розв'язання задач діагностики міцністних властивостей матеріалів під навантаженням неможливо без детального вивчення їх мікроструктури. Для цього необхідні математичні моделі, які засновані на генерації акустичних сигналів при навантаженні конструкцій.

Для побудові математичної моделі автоматизації процесів ідентифікації стану матеріалів металевих конструкцій в умовах невизначеності на основі акустичної емісії виконано синтез моделей енергетичного спектра акустико-емісійних сигналів при навантаженні. Запропоновано одномірну дискретно-континуальну модель енергетичного спектра сигналів акустичної емісії, в якій силові константи є параметрами пружних зв'язків. Її особливостями є дискретна структура матеріалів при руйнуванні і сили дальності при розповсюдженні сигналів. Встановлено, що стиснення акустичного сигналу в часі призводить до розширення його спектру, в той час як зрушення сигналу в часі, викликає фазовий зсув спектра пропорційний частоті. Запропоновано модель енергетичного спектра акустико-емісійних сигналів в двохатомній комірки з внутрішніми ступенями свободи, в якій окремо виділені низькочастотна і високочастотна складові. Встановлена трансляційна і ротаційна інваріантність енергії спектра. Запропоновано модель енергетичного спектра акустико-емісійних сигналів в сполучених суцільних середовищах. Встановлена відповідність між спектральними

характеристиками дискретної структури матеріалів і характеристиками поширення акустичних сигналів.

Проведено імітаційний експеримент шляхом комп'ютерного моделювання на підставі ідентифікації силових констант і параметрів мікроструктури матеріалів, які підтверджують ефективність запропонованої моделі автоматизація процесу ідентифікації стану металевих конструкцій в умовах невизначеності характеру навантажень.

На основі отриманої моделі здійснено аналіз взаємозв'язків акустичних сигналів з параметрами силового поля при різних стадіях навантаження: одновісному розтягуванню, повторному деформаційному зміцненню, стисканню, стиску зі згином, як об'єкта керування, а саме встановлено найбільш інформативні ознаки, які необхідно врахувати для підвищення якості діагностики. Отримані результати є необхідним етапом створення математичного та програмного забезпечення обробки інформації в динамічній системі ідентифікації стану металевих конструкцій.

Для урахування інформації про джерело руйнування, що знаходить на вхід автоматичної системи автоматизація процесу ідентифікації стану металевих конструкцій в умовах невизначеності характеру навантажень удосконалено структуру оператора динамічного процесу виникнення сигналів руйнування, який за допомогою відновлення інформації від джерела акустичної емісії, дозволяє вирішувати зворотною задачу визначення характеристик вхідного сигналу по вихідному сигналу діагностичної системи, через потенційну функцію ангармонійного осцилятора, засновану на експериментальних даних, отриманих протягом навантаження. Це дає можливість автоматизації процесу ідентифікації стану металевих конструкцій в умовах невизначеності характеру навантажень, шляхом створення моделі динамічного процесу відновлення інформації в джерелі збурень при спостереженні за вихідними параметрами сигналів діагностичної системи.

Виходячи з аналізу моделі формалізовано завдання процесів ідентифікації стану складних організаційно-технічних об'єктів для забезпечення необхідної точності і якості діагностування змін механічних

властивостей під час експлуатації за рахунок визначення координат дефектів і визначення їх розвитку у реальному часі, що пропонується виконувати за допомогою запропонованого перехресного алгоритму. Він складається з обчислювального алгоритму знаходження оператора динамічного процесу виникнення акустичних сигналів та керуючого алгоритму. Обчислювальний алгоритм являє собою сукупність правил перетворення вихідних даних в результати. Керуючий алгоритм є процедурою діагностики. При цьому відбувається комбінація алгоритмів і навчання окремих моделей на одних і тих же вхідних даних. після чого об'єднуються результати обох моделей.

На основі аналізу сучасного стану систем автоматизації процесів ідентифікації металевих конструкцій визначено вимоги до реєструючої апаратури, запропоновано практичні рекомендації щодо вибору робочого частотного діапазону, смуги пропускання, типів п'єзоперетворювачів, обґрунтовано напрямки удосконалення. Запропоновані схемотехнічні рішення і конструкторські розробки захищені патентами.

Розглянуто питання, що виникають при практичній реалізації діагностування і забезпечення надійності. Запропоновано технологія автоматизації процесу ідентифікації стану металевих конструкцій, яка відрізняється побудовою граничної поверхні руйнування за допомогою акустико-емісійних вимірювань, що дозволяє відокремити область працездатності від області відмов і визначити залишковий ресурс обладнання у реальному часі, запропоновано метод ідентифікації стану міцністних властивостей при багатопараметричному навантаженні характеристики матеріалів не залежно від форми металевих конструкцій.

Впровадження автоматизації процесу ідентифікації стану металевих конструкцій в умовах невизначеності навантажень дозволяє визначити залишковий ресурс обладнання, за рахунок чого підвищується його надійність в 2...3 рази, при збільшенні міжремонтного ресурсу на 25-30%.

Ключові слова: автоматизація процесу, ідентифікація стану, металеві конструкції, діагностика у реальному часі, акустико-емісійні сигнали, інформаційні ознаки, багатопараметричне навантаження.

Список публікацій здобувача:

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Марасанов, В.В., **Шарко, А.О.**: Наноструктурные модели инициирования сигналов акустической эмиссии. Наукові нотатки. Міжвузівський збірник. Луцьк. **57**, 115-122 (2017). *Журнал входить до міжнародної наукометричної бази РИНЦ* (Внесок дисертанта: вивчення причинно-наслідкових зв'язків утворення сигналів акустичної емісії при деформації матеріалів)
2. Марасанов, В.В., **Шарко, А.А.**: Энергетический спектр сигналов акустической эмиссии наноразмерных объектов. Журнал нано- та електронної фізики. **9(2)**, 02012-1-02012-4 (2017) (*DOI: 10.21272/jnep.9(2).02012*) *Журнал входить до міжнародної бази SCOPUS* (Внесок дисертанта: встановлення залежностей спектру коливань від розмірів елементарної комірки структури нанорозмірних об'єктів)
3. Марасанов, В.В., **Шарко, А.А.**: Энергетический спектр сигналов акустической эмиссии в сложных средах. Журнал нано- та електронної фізики. **9(4)**, 04024-1 -0424-5 (2017) (*DOI: 10.21272/jnep.9(4).04024*) *Журнал входить до міжнародної бази SCOPUS* (Внесок дисертанта: квантово механічний розрахунок застосування моделі складного середовища)
4. Алексенко, В.Л., **Шарко, А.А.**, Юренин, К.Ю., Сметанкин, С.А., Степанчиков, Д.М.: Влияние степени деформации на параметры сигналов акустической эмиссии стали СтЗсп. Наукові нотатки. Міжвузівський збірник. Луцьк. **60**, 8-21 (2017). *Журнал входить до міжнародної наукометричної бази РИНЦ* (Внесок дисертанта: проведення експериментальних досліджень, обробка результатів)
5. Марасанов, В.В., **Шарко, А.А.**: Физические свойства предвестников акустических сигналов в структурных моделях развивающихся дефектов металлических конструкций. Науковий вісник Херсонської державної морської академії. **1(16)**, 166-176 (2017). (Внесок дисертанта: розрахунки групової швидкості акустичних сигналів при виникненні дефектів матеріалів під впливом навантажень).

6. Алексенко, В.Л., **Шарко, А.А.**, Юренин, К.Ю., Сметанкин, С.А., Степанчиков, Д.М.: Обнаружение акустико-эмиссионных эффектов при повторном нагружении образцов из стали СтЗсп. Техническая диагностика и неразрушающий контроль. Международный научно-технический и производственный журнал, Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины. **4**, 25-31 (2017) (Внесок дисертанта: проведення експериментальних досліджень)
7. Марасанов, В.В., **Шарко, А.А.**: Определение силовых констант сигналов акустической эмиссии в уравнениях движения модели сложной структуры сплошной среды. Журнал нано- та електронної фізики. **10**(1), 01019-1-01019-6 (2018) (*DOI: 10.21272/jnep.10(1).01019*) *Журнал входит до міжнародної бази SCOPUS* (Внесок дисертанта: проведення обчислювального експерименту, розрахунок силових констант)
8. Алексенко, В.Л., Шарко, А.В., **Шарко, А.А.**, Степанчиков, Д.М., Юренин, К.Ю.: Идентификация структурных особенностей механизмов деформирования при изгибе методом акустической эмиссии. Техническая диагностика и неразрушающий контроль. Международный научно-технический и производственный журнал, Национальная академия наук Украины, Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины. **1**, 32-39 (2019) (Внесок дисертанта: проведення експериментальних досліджень)
9. Алексенко, В.Л., **Шарко, А.А.**, Сметанкин, С.А., Степанчиков, Д.М., Юренин, К.Ю.: Применение акустико-эмиссионных и тензометрических измерений к процессам диагностики деформационного упрочнения композиционных материалов на основе эпоксидной матрицы. Техническая диагностика и неразрушающий контроль. Международный научно-технический и производственный журнал, Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины. **3**, 46-54 (2019) (Внесок дисертанта: проведення експериментальних досліджень).
10. **Шарко, А.О.**: Моделі і схемотехнічні рішення автоматизації процесів керування в системах технічної діагностики металевих конструкцій методом

акустичної емісії. Моделі та прилади контролю якості. *Журнал включений до переліку наукових фахових видань категорії «Б»*. 1(44) 24-34 (2020)

Статті у наукових виданнях інших держав:

11. Marasanov, V., **Sharko, A.**: Classification of the Functionality and the Schemes of the Acoustic Emission Sources Localization. *Informatyka, Automatyka, Pomiaru. Politechnika Lubelska, Lublin Polska IAPGOS* 7(3), 5-7 (2017); (DOI: 10.5604/01.3001.0010.5204) *Журнал входит у Міжнародну базу Index Copernicus*. (Внесок дисертанта класифікація функціональних схем і локалізація джерел акустичної емісії)
12. **Sharko, A.**: Models and methods of processing of information of loads of acoustic signals in technical diagnostic systems. *Informatyka, Automatyka, Pomiaru. Politechnika Lubelska, Lublin Polska IAPGOS* 3, 15-18 (2018). *Журнал входит у Міжнародну базу Index Copernicus*

Видання, що цитуються наукометричною базою SCOPUS

13. Марасанов, В.В., Шарко, А.В., **Шарко, А.А.**: Граничные задачи определения энергетического спектра сигналов акустической эмиссии в сопряженных сплошных средах. *Кибернетика и системный анализ. Міжнародний науково-теоретичний журнал інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України*. 55(5), 170-179 (2019). *Журнал входит до Міжнародної наукометричної бази SCOPUS* (Внесок дисертанта: побудова схеми сигналів акустичної емісії в сполучених суцільних середовищах)
14. Marasanov, V., **Sharko, A.**, Stepanchikov, D.: Model of the Operator Dynamic Process of Acoustic Emission Occurrence While of Materials Deforming / Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making Advances in Intelligent Systems of Computing. 1020, 48-64 (2019) (Внесок дисертанта: виконання розрахунків ідентифікації структурних змін матеріалів).
15. Marasanov, V.V., Stepanchikov, D.M., Sharko, A.V., **Sharko, A.A.**: Technique of System Operator Determination Based on Acoustic Emission Method. *Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making Advances in Intelligent Systems of Computing Advances in Intelligent Systems and Computing*. 1246, 3-22 (2020) (<https://doi.org/10.1007/978-3-030-54215-3>) (*Scopus*) (Внесок

дисертанта: запропоновано алгоритм багатофакторної моделі інформаційної діагностики)

16. Marasanov, V.V., Sharko, A.V., **Sharko, A.A.**: Energy Spectrum of Acoustic Emission Signal in Coupled Continuous Media / Journal of Nano- and Electronic Physics **11**(3), 030281(7pp) (2019) ([https://doi.org/10.21272/jnep.11\(3\).03028](https://doi.org/10.21272/jnep.11(3).03028))
Журнал входить до міжнародної наукометричної бази Scopus (Внесок дисертанта: визначення умов існування оператора пружної енергії)

Патенти

17. Марасанов, В.В., Шарко, А.О.: Датчик акустичної емісії – патент на корисну модель №116757 від 12.06.2017 р. Бюлл. №11 (Внесок дисертанта: розміщення перепідсилювача і блока фільтрів у корпусі датчика)

18. Коберський, В.В., Марасанов, В.В., Шарко, А.О., Шарко, О.В.: Апаратне забезпечення обробки сигналів акустичної емісії - патент на корисну модель №116405 від 25.05.2017 р. Бюлл. №10 (Внесок дисертанта: введення пристрою інформаційного каналу)

19. Марасанов В.В., Погребняк І.Ф., Шарко А.О. Акустичний датчик контролю фізико-механічних властивостей матеріалів – патент на корисну модель №122797 від 25.01.2018 р. Бюлл. №2 (Внесок дисертанта: розтушування противаги в піраміді хвилеводу)

20. Шарко А.О., Юренін К.Ю., Степанчиков Д.М. Автоматизований пристрій для визначення механічних характеристик металів при чотириточковому згині – патент на корисну модель №140422 від 25.02.2020р. Бюлл. №4 (Внесок дисертанта розміщення датчиків)

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

21. **Шарко А.А.** Использование структурных моделей и предвестников акустических сигналов от развивающихся дефектов при эксплуатации металлических конструкций. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Транспорт: механічна інженерія, експлуатація, матеріалознавство (ТМІЕМ-2017): матеріали міжнар. наук.-техн. конф., м. Херсон, ХДМА, 21-22 вересня 2017, 103-104.

22. **Шарко А.О.** Удосконалена конструкція акустичного датчика в системах

- оцінки технічного стану об'єктів. Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції «Суднова енергетика: стан та проблеми: матеріали міжнар. наук.-техн. конф., м. Миколаїв, НУК, 8-10 листопада 2017, 159-161.
23. Marasanov, V., **Sharko, A.**: Discrete models characteristics of the forerunners of origin of the acoustic emission signals origin forerunner. IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON): матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. 29 May-2 June (2017), 680-683. *Видання Scopus* (Внесок дисертанта: аналіз моделей, виконання розрахунків дисперсійних кривих).
24. **Шарко А.О.**: Моделі ініціювання сигналів акустичної емісії в складних середовищах. Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології промислового комплексу»: матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Херсон, 12-16 вересня 2018. 304-305.
25. **Шарко, А.А.**: Информационная диагностика в структурном моделировании акустико-эмиссионного контроля. Матеріали I Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих вчених за тематикою «Сучасні комп'ютерні системи та мережі в управлінні»: матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Херсон, 30 листопада 2018, 229-232.
26. Marasanov, V., **Sharko, A.**: Information-structural modeling of the the Forerunners of Origin of Acoustic Emission Signals in Nanoscale Objects. 2018 IEEE 38th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO): матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Київ. 24-26 квітня 2018. *Видання Scopus* (Внесок дисертанта: ідентифікація структурних особливостей акустичного спектру)
27. Марасанов, В.В., **Шарко, А.А.**: Моделирование стохастических процессов развития дефектов и их обнаружение методами акустической эмиссии. Матеріали VI Міжнародної конференції «Математическое моделирование, оптимизация и информационные технологии»: матеріали міжнар. конф., м. Кишинёв, 12-16 ноября 2018, 384-387. (Внесок дисертанта: складання функціональної схеми інформаційної діагностики)

28. Marasanov, V., **Sharko, A.**: Modelling of the Forerunners of Origin of Acoustic Emission Signals in Nanoscale Objects. Матеріали VI Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених з автоматичного управління, присвяченої Дню космонавтики: матеріали всеукраїн. наук.-практ. конф., м. Херсон, 11-13 квітня 2018, 36-37. (Внесок дисертанта: побудова рівнянь розповсюдження акустичних сигналів у суцільному середовищі)
29. Marasanov, V., Sharko, A., **Sharko, A.**, Stepanchikov, D.: Modelling of energy spectrum of acoustic-emission signals in dynamic deformation process of medium with microstructure. IEEE 39th International Conference on Electronics and nanotechnology (ELNANO): матеріали міжнар. конф., м. Київ, April 16-18 2019, 718-723. *Видання Scopus* (Внесок дисертанта: виконання розрахунків).
30. **Шарко, А.О.**: Информационное обеспечение диагностики механических свойств с использованием явления акустической эмиссии Збірник наукових праць міжнародної наукової конференції. Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту (ISDMCI): матеріали міжнар. конф., м. Херсон, 21-25 травня 2019, 206-208.
31. Marasanov, V., Stepanchikov, D., Sharko, A., **Sharko, A.**: Operator of the Dynamic Process of the Appearance of Acoustic Emission Signals During the Structure of Materials. IEEE 40th International Conference of Electronics and Nanotechnology (ELNANO): матеріали міжнар. конф., м. Київ, 22-24 April 2020, 646-650. *Видання Scopus* (Внесок дисертанта: встановлення осциляторних властивостей акустичних сигналів).
32. **Шарко А.А.**, Марасанов В.В.: Інформаційна діагностика механічних властивостей складних технічних об'єктів. Матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених з автоматичного управління, присвяченої Дню космонавтики: матеріали всеукраїн. наук.-практ. конф., м. Херсон, 10-12 квітня 2019, 101-102. (Внесок дисертанта: складання функціональної схеми інформаційної діагностики)
33. Марасанов, В.В., **Шарко, А.А.**, Степанчиков Д.М.: Разработка и реализация модели идентификации и прогнозирования состояния материала

при нагрешенні Збірник наукових праць Міжнародної наукової конференції. “Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту ISDMCI” : матеріали міжнар. конф., м. Херсон, 21-25 травня 2019, 102-104.

34. **Шарко А.О.** Автоматизація процесу визначення стану металевих конструкцій в умовах невизначеності характеру та величини навантажень. Матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції «Прогресивні напрямки розвитку технологічних комплексів»: матеріали міжнар. наук.-техн. конф., м. Луцьк, 2-4 червня 2020, 190-192.