

ПРИЛАДИ

УДК 620.179.14

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.5/05>

Петрик В.Ф.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Протасов А.Г.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Галаган Р.М.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Муравйов О.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Момот А.С.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

БЕЗДРОТОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В АВТОМАТИЗАЦІЇ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

Використання бездротових технологій нині спостерігається в багатьох галузях промисловості, і неруйнівний контроль не є винятком. Можливості сучасних смартфонів, які мають значну обчислювальну потужність і великі ресурси пам'яті, роблять їх привабливими для застосування в таких областях неруйнівного контролю, як моніторинг стану конструкцій, контроль цілісності об'єктів підвищеної небезпеки, діагностика роботи обладнання тощо.

Розвиток технологій неруйнівного контролю як основи для попередження техногенних катастроф і надзвичайних ситуацій, а також забезпечення експлуатації промислового обладнання та перевірки якості продукції, нині виходить на новий рівень.

В умовах промислової революції «Індустрія 4.0» величезними темпами зростає ступінь автоматизації виробництва завдяки впровадженню все більш складних і взаємопов'язаних промислових систем, що забезпечують оперативний обмін даними. Рушійними силами такої тенденції є:

- зростаюча доступність мініатюрних бездротових датчиків;
- повсюдність зв'язку через Інтернет;
- найкоротші витрати на хмарне зберігання / обробку даних;

– можливості швидкого аналізу й отримання рекомендацій, заснованих на отриманих даних, із використанням все більш доступних та ефективних сценаріїв штучного інтелекту.

У зв'язку з розвитком ІТ технологій у сучасному промисловому виробництві можна сформулювати основні цілі, що стоять перед неруйнівним контролем в умовах Індустрії 4.0. Це підвищення швидкодії контролю, стійкості отриманих даних та оперативності прийняття рішення. Отже, майбутнє неруйнівного контролю тісно пов'язане з процесами, що характеризуються вищою точністю, меншою кількістю помилок і, отже, підвищеною ймовірністю виявлення дефектів, а також детальними цінними даними, які доступні в будь-який час із будь-якої точки світу. Оцінка результатів контролю може проводитися групами людей, а не окремими людьми, з вищою дисперсією навичок. Продуктивність і швидкість будуть відігравати все більшу роль. Таким чином, можна передбачити, що неруйнівний контроль, орієнтований на майбутнє, забезпечить економію коштів за одночасного поліпшення результатів, значною мірою допомагаючи користувачам скоротити або навіть повністю уникнути додаткових операцій контролю.

Метою статті є огляд літератури, що присвячена популяризації впровадженню смартфонів у технологічні процеси традиційних методів неруйнівного контролю.

Ключові слова: *неруйнівний контроль, бездротові технології, смартфон, дефектоскоп, Інтернет речей.*

Постановка завдання. Основні проблеми в галузі неруйнівного контролю та шляхи їх вирішення. Складні інтерфейси: більша частина обладнання неруйнівного контролю (далі – НК) виглядає складним у використанні, тому що воно зазвичай розробляється для фахівців в галузі НК. Не тільки сам процес вимірювання, але і правильне налаштування обладнання в деяких випадках видаються вельми складними для розуміння.

Неефективні робочі процеси: Наприклад, створення та маркування тестової сітки на досліджуваному об'єкті забирає багато часу та є громіздкими. Сучасні рішення вимагають фіксованої сітки, яка зазвичай наноситься крейдою, вимірювальною стрічкою і маркером. Точність результату залежить від точності розташування сенсора на заданій сітці.

Складна інтерпретація даних: при аналізі результатів вимірювань томографічних технологій компетентність в аналізі і якість результатів можуть сильно відрізнятись у різних операторів.

Неможливість повністю відслідкувати метрологічні характеристики приладів: як правило, оператори обладнання НК повинні вручну документувати процедури вимірювання таким чином, щоб вони могли довести дотримання необхідних керівних принципів, а використовувані інструменти і датчики були належним чином відкалібровані і перевірені. До цих пір цей вид діяльності був повністю ручним. Крім того, він страждає від фрагментованих джерел інформації, відсутності огляду покрокового робочого процесу оператора і будь-яких змін або відхилень від початкової процедури. Ці проблеми призводять до скрутного простежування процедури в процесі контролю.

Складний обмін даними: одне з найбільш трудомістких завдань нині – опрацювання результатів після збору даних в польових умовах. Спостереження показали, що час, який витрачається на цю задачу, може в два рази перевищувати фактичний час, що використовується безпосередньо для вимірювання. Поширення результатів стало важливим елементом при взаємодії з колегами на крупному дослідницькому майданчику, в офісі, з постачальниками або клієнтами. Крім того, обсяг зібраних даних, особливо при використанні таких технологій, як радіолокаційні, ультразвукові або вихрострумові, значно збільшився. Поки що дані зазвичай зберігаються на папері, в самому пристрої НК або на окремому носії. Деякі пристрої потребують ручного вводу даних у вказане сховище з подальшим аналізом даних за допомогою комп'ютера.

Для розв'язання перерахованих проблем у деяких приладах НК вже використовуються роботизовані сканери під час проведення ультразвукового і оптичного контролю зварних з'єднань, вимірювання геометричних параметрів металопрокату, тощо. Спостерігається тенденція до відходу від створення портативних приладів і їх мініатюризації. Стійким трендом стає виробництво приладів НК, що мають канали передачі вимірювальної інформації і можливість її документування. Це обумовлює відхід від окремих вимірювань і обробки результатів контролю безпосередньо на місці проведення робіт. Збір інформації від різних типів первинних перетворювачів (датчиків) і її обробка з метою отримання того чи іншого показника (наприклад, величини корозії, структурного параметра матеріалу та ін.) будуть здійснюватися централізовано. Дані будуть накопичуватися і переміщуватися в сховище для виявлення нових залежностей між вимірюваними параметрами і станом об'єкта контролю на основі алгоритмів обробки великих об'ємів даних і хмарних обчислень.

У зв'язку із цим виникає необхідність розглянути в НК нові інформаційні технології, засновані на інтелектуальному сприйнятті, технології розпізнавання, складних обчислень, повсюдної мережевої інтеграції та розвитку інформаційної індустрії, відомої як Інтернет Речей (IP).

Постановка завдання. Метою статті є огляд літератури, яка присвячена популяризації впровадження смартфонів у технологічні процеси традиційних методів неруйнівного контролю.

Виклад основного матеріалу дослідження. Сучасні смартфони – це високо інтегровані пристрої, що мають значну обчислювальну потужність, великий ресурс пам'яті і можуть працювати в мережі з різноманітними датчиками. Це робить їх привабливими для використання в області моніторингу, де дані повинні записуватися, оброблятися, зберігатися, передаватися і навіть бути візуалізованими. У зв'язку з цим смартфони з датчиками і виконавчими механізмами можна широко використовувати в світі IP.

Можливості Інтернету речей і великих даних сьогодні розуміють і приймають практично всі галузі промисловості і все більше і більше компаній. Бездротове підключення до випробувальних зондів та датчиків знаходить використання і в секторі НК. Хмарне сховище даних може бути задіяно у сфері НК і практично кожен може використовувати його для виробничих даних, інструментів обробки і звітності.

Впровадження бездротових технологій.

Яскравим прикладом використання Інтернету Речей є моніторинг стану конструкцій (Structural Health Monitoring), який став загальноприйнятим галузевим стандартом для розміщення датчиків моніторингу працездатності деяких великих споруд, що дасть можливість завчасно вжити заходів, які попередять аварійні ситуації. В роботі [1, с. 745] автори спробували оцінити та підтвердити використання смартфонів для моніторингу стану у тривимірній сталевій конструкції, яка може бути пошкоджена під час землетрусу, а в роботі [2, с. 1] представлена система моніторингу стану мостових конструкцій. У обох роботах смартфон було використано для мережевої передачі даних, їх зберігання та наступної обробки.

Перспективи застосування бездротового зв'язку для технічної діагностики з відомими методами НК розглянуто в роботах [3, с. 28; 4, с. 1]. Автори статей демонструють основні недоліки сьогоденних робочих процесів НК. На прикладах з різних галузей вони ілюструють, як можна підвищити рівень продуктивності, заощадити кошти і збільшити загальну швидкість перевірки, що врешті-решт приводить до підвищення конкурентоспроможності НК в цілому.

Використання нових інструментів Індустрії 4.0 в НК знаходить безліч застосувань, наприклад, моніторингу стану промислового обладнання [5, с. 136]. У статті описується інтеграція ультразвукового неруйнівного контролю з бездротовими сенсорними мережами для постійного контролю цілісності матеріалу під час роботи. Мережа бездротових датчиків полегшує спільні зусилля з моніторингу об'єкту без необхідності в дорогих мережах з дрютяними лініями. Автори описують архітектуру системи неруйнівного контролю, яка відрізняється наднизьким енергоспоживанням, низькою вартістю, простотою у використанні і автономно інтегрується в платформу бездротових сенсорних мереж. Система була успішно розгорнута для контролю товщини листів з металевих сплавів (вольфраму і сталі), які використовуються в вібраційних екранах.

Другий приклад – система виявлення та визначення місця розташування пошкодження ізоляції силового трансформатора [6, с. 420]. У роботі була запропонована система онлайн-моніторингу виявлення та визначення місця розташування часткових розрядів за допомогою бездротової сенсорної мережі. Частковий розряд є важливим індикатором стану ізоляції силового трансформатора, тому контроль його стану є актуальною задачею. Використання бездротових сенсорів дозволило досягти простоти розгортання цих сенсорів і отримати низьку вартість. Авторам вдалося вирішити головну проблему бездротової сенсорної мережі – це забезпечити високу точність синхронізації роботи сенсорів за часом. Система також змогла не тільки виявити часткові розряди, але і визначати їх місцезнаходження з достатньою точністю.

У роботі [7, с. 1271] представлена мобільна система обробки ультразвукових сигналів з використанням смартфона для віддаленого ультразвукового тестування і обробки зображень. Автори використовували обчислювальні можливості операційної системи смартфона Android для порівняльного аналізу ультразвукових сигналів. Результати аналізу відображалися на екрані смартфона в режимі реального часу і передавалися диспетчеру через Wi-Fi зв'язок або стільникові мережі передачі даних для зберігання і подальшого аналізу даних.

Автори роботи [8, с. 1048] пропонують систему моніторингу, яка використовується для відстеження руху і орієнтації балки при підйомі на морський міст в режимі реального часу. Морське будівництво набагато складніше, ніж наземне, особливо із-за підйомних операцій. Таким чином, для безпеки операторів потрібен моніторинг в реальному часі орієнтації і руху підйомної конструкції. Ця проблема була вирішена шляхом використання смартфонів в системі моніторингу підйому, що включає мережу телефонів, контролер і сервер. Ця система використовує смартфони, оснащені внутрішніми датчиками, які видають інформацію про рух балки. Дані датчиків спочатку завантажуються на сервер, а потім повертаються до контролера. Індикація результатів моніторингу з'являється на телефоні диспетчера, коли отримані дані перевищують порогове значення. Отже, спроектована система зручна у використанні і підвищує безпеку роботи операторів.

Потенційні можливості смартфонів в системах для моніторингу небезпечних зсувів конструкцій представлені в роботі [9, с. 149]. Акселерометри, а також аудіо пристрої з динаміками і мікрофонами використовувались у цих системах як датчики, котрі прикріплювались до конструкції. Результати досліджень показали, що пристрій з високим ступенем інтеграції і великими ресурсами пам'яті є привабливими для використання в області моніторингу переміщення, зміщення і нахилу будівельних конструкцій в динаміці. Ще один додаток, який розглядався авторами, це вимірювання нахилу конструкцій. Смартфони також можуть бути незамінними елементами систем

моніторингу внутрішнього зміщення конструкцій під час стихійних лих, наприклад землетрусів [10, с. 1].

Смартфони зробили революцію в способах роботи застосунків для моніторингу стану інфраструктури, тому особливий інтерес представляє робота з використанням смартфона в техніці агрегування і візуалізації для безперервного моніторингу транспортної інфраструктури на базі краудсорсингу, при якому компанії-виробники покладаються на користувачів не тільки в питанні формулювання потреб, а й у визначенні виробів і удосконалень, які б задовольнили ці потреби. Можливості смартфонів зробили дані вимірювань для застосунків моніторингу стану інфраструктури легкодоступними [11, с. 1].

У медицині смартфон використовується в структурних системах діагностики захворювань, їх моніторингу та лікувань. Автори статті [12, с. 293] показали, що використання смартфона є ефективним і дієвим методом поліпшення догляду за пацієнтами і медичної освіти в галузі охорони здоров'я. Доступ до медичного обслуговування також поліпшується завдяки використанню цього інструменту.

Застосування бездротових технологій в задачах НК розглянуто в роботах [13, с. 12; 14, с. 74]. Автори досліджують можливості використання смартфонів для організації ультразвукового та вихрострумowego НК. Розширені функції смартфона привносять інноваційні особливості для звичайних методів неруйнівного контролю. Наприклад, користувач може зберегти координати місця, де проводиться огляд, або фотографувати матеріали, які тестуються.

До функцій, які виконує смартфон в системах НК, відносяться мережева передача даних, їх збе-

рігання та вбудована обробка, бездротове тестування і експертиза матеріалів в режимі реального часу, а також визначення координат місця розташування дефектів в межах певного діапазону помилок. Тому використання смартфонів в системах НК окреслили нову проблему, яка полягає в можливості отримання величезної кількості даних. Ця нова реальність викликає потребу в ефективних методах їх обробки і візуалізації.

Висновки. Проведений огляд застосування бездротових технологій в НК показав, що використання потужних можливостей смартфонів дозволяє перевести процес проведення контролю на зовсім інший якісний рівень. Смартфони спроможні передавати дані на значні відстані, записувати їх, опрацьовувати, зберігати, а також розміщувати інформацію у хмарних сховищах, звідки ця інформація може бути доступною різним фахівцям з НК для прийняття рішення та звітності. Смартфони, у поєднанні з бездротовими датчиками і виконавчими механізмами, можуть бути широко використані для різноманітних цілей, у тому числі для моніторингу стану об'єктів підвищеної небезпеки. Бездротове тестування і експертиза матеріалів в режимі реального часу, а також визначення координат місця розташування дефектів є відчутною перевагою систем на базі смартфонів. Застосування бездротових технологій в НК підвищує рівень продуктивності операцій контролю, зменшує витрати на обладнання і збільшує загальну швидкість перевірки, що підвищує конкурентоспроможність неруйнівного контролю в цілому.

Разом із тим велика кількість інформації, яку система на базі смартфона здатна генерувати, породжує нову проблему. Виникає потреба у ефективних методах опрацювання великого масиву даних.

Список літератури:

1. Xie B., Li J., Zhao X. Research on Damage Detection of a 3D Steel Frame Model Using Smartphones. *Sensors*. 2019. Vol. 19. No. 3. P. 745–762. DOI: 10.3390/s19030745.
2. Yu Y., Han R., Zhao X., Mao X., Hu W., Jiao D., Li M., Ou J. Initial validation of mobile-structural health monitoring method using smartphones. *International Journal of Distributed Sensor Networks*. February, 2015. P. 1–14.
3. Kren A.P., Delendyk M.N., Ivanov V.P. Industry 4.0: Transformations in Non-Destructive Testing. *Science and innovation*. 2019. No. 2 (192). P. 28–32.
4. Meier J, Tsalicoglou I., Mennicke R. The future of NDT with wireless sensors, A.I. and IoT. *Proceedings 15th Asia Pacific Conference for Non-Destructive Testing*, Singapore, November 13–17, 2017. P. 1–11.
5. El Kouche A., Hassanein H.S. Ultrasonic Non-Destructive Testing (NDT) Using Wireless Sensor Networks. *Procedia Computer Science*. 2012. Vol. 10. P. 136–143. DOI: 10.1016/j.procs.2012.06.021.
6. He X., Xie G., Jiang Y. Online Partial Discharge Detection and Location System Using Wireless Sensor Network. *Energy Procedia*. 2011. Vol. 12. P. 420–428. DOI: 10.1016/j.egypro.2011.10.056.
7. Yi W., Gilliland S.S., Saniie J. Mobile ultrasonic signal processing system using Android smartphone. *Circuits and Systems (MWSCAS), 2013 IEEE 56th International Midwest Symposium on*. 4–7 August, 2013. P. 1271–1274. DOI: 10.1109/MWSCAS.2013.6674886 ; 10.1155/2015/274391.

8. Han R., Zhao X., Yu Y., Guan Q., Hu W., Li M. A Cyber-Physical System for Girder Hoisting Monitoring Based on Smartphones Sensors. *Sensors*. 2016. Vol. 16. No. 7. P. 1048–1064. DOI: 10.3390/s16071048.
9. Morgenthal G., Höpfner H. The application of smartphones to measuring transient structural displacements. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*. 2012. No. 2 (3–4). P. 149–161. DOI: 10.1007/s13349-012-0025-0.
10. Li J., Xie B., Zhao X. Measuring the interstory drift of buildings by a smartphone using a feature point matching algorithm. *Structural Control and Health Monitoring*. January, 2020. P. 1–17. DOI: 10.1002/stc.2492.
11. Seraj F., Meratnia N., Havinga P. An aggregation and visualization technique for crowd-sourced continuous monitoring of transport infrastructures. *Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops), 2017 IEEE International Conference on*, USA, March, 2017. P. 1–6. DOI: 10.1109/PERCOMW.2017.7917561.
12. Valle J., Godby T., Paul D.P., Smith H., Coustasse A. Use of Smartphones for Clinical and Medical Education. *The Health Care Manager*. 2017. Vol. 36 (3). P. 293–300. DOI: 10.1097/HCM.000000000000176.
13. Петрик В.Ф., Протасов А.Г., Серий К.Н., Повшенко А.А. Використання серійних мобільних пристроїв при проєктуванні портативних дефектоскопів. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки*. 2019. Том 30 (69). Ч. 2. № 6. С. 12–16. DOI: DOI.org/10.32838/2663-5941/2019.6-2/03.
14. Petrik V.F., Protasov A.G., Syeryy K.M., Lysenko I.I. Using wireless data transmission in eddy current nondestructive testing. *Instrument Engineering – 2017 : materials of the 10th International Scientific and Technical Conference*, Minsk, November 1–3, 2017. BNTU, 2017. P. 74–76.

Petryk V.F., Protasov A.G., Galagan R.M., Muraviov O.V., Momot A.S. WIRELESS TECHNOLOGIES IN THE NON-DESTRUCTIVE TESTING AUTOMATION

The use of wireless technology is now seen in many industries and non-destructive testing (NDT) is no exception. The capabilities of modern smartphones, which have significant computing power and large memory resources, makes them attractive for use in such areas of non-destructive testing as structural control and health monitoring, the integrity of high-risk objects monitoring, equipment diagnostics and others.

The development of non-destructive testing technologies as a basis for the prevention of man-made disasters and emergencies, as well as ensuring the operation of industrial equipment and product quality control today reaches a new level.

The degree of production automation is growing rapidly in the conditions of the industrial revolution “Industry 4.0”. This is due to the introduction of increasingly complex and interconnected industrial systems that provide operational data exchange. The driving forces of this trend are:

- increasing availability of miniature wireless sensors;
- the ubiquity of their interconnection via the Internet;
- the shortest consumption for cloud storage / data processing;
- rapid improvement of analysis capabilities and recommendations based on the obtained data, using more and more affordable and effective methods of the artificial intelligence application.

Because of development of IT technologies in modern industrial production, it is possible to formulate the main goals for NDT in the conditions of Industry 4.0. This is to increase the speed of control, the stability of the data and the efficiency of decision-making. Thus, the future of non-destructive testing is closely linked to processes characterized by higher accuracy, fewer errors and, as a result, increased probability of a flaw detection, as well as availability of valuable data at anytime from anywhere in the world. The groups of people with a higher variance of skills can evaluate obtained results instead of individuals. Productivity and speed will matter more. Thus, it is possible to predict that the future-oriented NDT will save money while improving results, greatly helping users to reduce or even completely avoid rework.

The purpose of this article is to review the literature on the introduction of smartphones in the technological processes of the traditional NDT methods.

Key words: non-destructive testing, wireless technologies, smartphone, flaw detector, Internet of Things.