

АНОТАЦІЯ

Лебединський А.В. Моделі, методи та інформаційна технологія дистанційного контролю технічних об'єктів з нестационарними сигналами. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки» (12 – Інформаційні технології). – Харківський національний автомобільно-дорожній університет Міністерства освіти і науки України, Харків, 2021.

Роботу виконано на кафедрі метрології та безпеки життєдіяльності Харківського національного автомобільно-дорожнього університету Міністерства освіти і науки України.

Об'єктом дослідження є процес автоматизованого прийняття рішення про стан мостових споруд на основі нестационарних їх прогинів, що отримані при дистанційному вимірюванні.

Предметом дослідження є моделі, методи та інформаційна технологія забезпечення автоматизованого прийняття рішень про стан мостових споруд на основі результатів дистанційного вимірювання параметрів нестационарних процесів прогинів.

Дисертаційне дослідження присвячене розробці моделей, методів та інформаційної технології дистанційного контролю технічних об'єктів з нестационарними вихідними сигналами для автоматизованого прийняття рішення щодо стану цих об'єктів. У даному дослідженні у якості технічних об'єктів використовувались мостові споруди.

В роботі пропонуються моделі, методи та інформаційна технологія дистанційного контролю технічних об'єктів з нестационарними сигналами, яка, на відміну від відомих технічних рішень, забезпечує сталість та цінність отриманої інформації у режимі реального часу при аналізі саме нестационарних процесів, що підкріплено 5 патентами України, одержаними з участю автора.

Дисертація пов'язана з актуальною світовою проблемою аналізу в реальному часі нестаціонарних процесів, характеристики яких важко передбачити і дуже складно виділяти цінну інформацію у великій множині даних та робити висновки щодо самого процесу.

У вступі обґрунтовано вибір теми дослідження та актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету і задачі, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, показано зв'язок роботи з науковими темами за планами Міністерства освіти та науки України, надано наукову новизну та сформульовано практичне значення отриманих результатів.

Перший розділ присвячено огляду літературних джерел за темою дисертаційної роботи, зокрема комплексному аналізу наявних інформаційних технологій в системах дистанційного контролю технічних об'єктів, в якості яких розглянуто мостові споруди, їх особливості та сфери застосування. Було визначено концепцію дистанційного контролю мостових споруд, що реалізована в дисертації. Проаналізовано основні недоліки існуючих інформаційних технологій дистанційного контролю технічних об'єктів, а саме: складний процес отримання інформації про стан мостових споруд за допомогою контактних методів вимірювання прогинів та коефіцієнта динамічності; необхідність обмеження руху транспорту по мостовій споруді для отримання інформації про її стан; можливість оцінювання інформації про стан мостової споруди тільки в одній точці вимірювання; велика кількість інформації, яку потрібно проаналізувати і виділити саме корисну; використання складних та трудомістких у своїй реалізації методів знаходження інформації про стан споруд при аналізі саме нестаціонарних процесів тощо.

У другому розділі розглянуто теоретичні основи побудови моделей, методів та інформаційних технологій дистанційного контролю мостових споруд. Проаналізовано сутність наявних моделей прийняття рішень щодо стану мостових споруд, яка полягає у вимірюванні коефіцієнта динамічності шляхом знаходження відношення динамічного прогину мосту посередині

найдовшого прольоту до статичного. Після цього знайдений коефіцієнт порівнюється із деяким пороговим значенням, яке встановлюється для певного типу мостової споруди і при перевищенні даного деякого порогу приймається рішення щодо подальшої експлуатації даної мостової споруди. Було звернено увагу на те, що дану модель прийняття рішень можна застосовувати для однорідних прогинів мостових споруд, коливання яких можна описати стаціонарним процесом. Але якщо коливання мостових споруд є нестаціонарним процесом, то традиційні методи та моделі прийняття рішень не є ефективними і потрібні нові методи, методи визначення інформації щодо стану мостових споруд.

У третьому розділі побудовано моделі, розроблено методи та інформаційна технологія дистанційного контролю мостових споруд. Одним з таких методів є метод збирання інформації про просторові прогини нижньої поверхні мостової споруди з використанням безконтактних методів вимірювання та знаходження інформації про мостову споруду з використанням мініатюрного радіолокатора, що може бути розміщений у будь-якому зручному для оператора місці, та системи вторинних випромінювачів, розміщених на нижній частині поверхні мостової споруди. Перевагою методу над наявними є можливість визначення інформації одразу у декількох точках мостової споруди, а не тільки в одній. Використовуючи даний метод точність отриманої інформації склала 90% при використанні рекомендованих параметрів системи. Запропоновано модель та метод визначення сталості, цінності інформації при дистанційному вимірюванні прогинів нижньої частини мостової споруди та інформаційну технологію прийняття рішень щодо стану мостової споруди в умовах нестаціонарних вхідних впливів. Удосконалено модель оцінювання сталості інформації, що отримана від нестаціонарних процесів, відносно опорного стаціонарного процесу, яка відрізняється обробленням інформації про стаціонарні моди Гільберта-Хуанга, що дозволяє підвищити якість прийняття автоматизованого рішення про стан технічного об'єкту. Після проведених експериментів було

отримано показник сталості від 0.86 до 0.98 для різних видів коливань мостової споруди. Набула подальшого розвитку інформаційна технологія дистанційного контролю технічних об'єктів, яка на відміну від відомих враховує нестационарність вхідних процесів, що забезпечує стабільність інформації для прийняття рішення. Набула подальшого розвитку модель та метод визначення цінності вимірювальної інформації про прогини мостових споруди, яка на відміну від відомих, враховує показники статистичних рішень щодо безпеки споруд, що дозволяє задовольнити суперечливим вимогам щодо безпеки та цінності інформації. Після проведених експериментів було отримано показник цінності інформації, який коливався в межах від $V = 0.81$ до $V = 0.95$ у залежності від прикладених до МС динамічних зовнішніх впливів при виборі порогового значення $V_a = 0.8$. Вибір порогових прогинів здійснюється з оптимальним врахуванням цих вимог.

У четвертому розділі розглянуто реалізації і впровадження розроблених моделей та методів для інших технічних об'єктів, наприклад, при навігації автономних мобільних роботів на незнайомій місцевості у разі відсутності GPS. По-перше, це система збирання і оброблення інформації на основі використання динамічних просторових каналів виявлення наземних орієнтирів. Зазначені канали створюються штучно при скануванні навколишньої місцевості відеокамерою і стисненні інформації шляхом переведення двомірних зображень в одомірні з метою виявлення наземних орієнтирів на фоні, що схожий за кольоровістю з орієнтирами. По-друге, це система збирання інформації про параметри кольоровості R, G, B , розкладання залежності останніх від просторової координати кадру зображень у просторі ортогональних мод Гільберта-Хуанга (дана декомпозиція використовується у випадку, коли початковий процес є саме нестационарним) та прийняття рішення про виявлення наземного орієнтиру на основі інформації про статистичний розподіл тільки перших трьох мод Гільберта-Хуанга.

Теоретичні та прикладні результати дисертаційної роботи використано у навчальному процесі кафедри «Мостів, конструкцій та будівельної механіки

ім. В. О. Російського» Харківського національного автомобільно-дорожнього університету для навчання студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» у лекційних курсах «Інноваційні напрямки технології експлуатації транспортних споруд» та при підготовці лабораторного практикуму. Результати дисертаційної роботи впроваджено при виконанні теми «Розробка інформаційно-вимірювальних систем та систем діагностики статичних і динамічних об'єктів в машинобудівній та дорожньо-будівельній галузях» (номер державної реєстрації № 0120U104317).

Ключові слова: інформаційна технологія, дистанційний контроль технічних об'єктів, нестационарні сигнали, мостова споруда, коефіцієнт динамічності, моди Гільберта-Хуанга, автономний мобільний робот, наземний орієнтир.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати

1. Полярус О. В., Лебединський А. В. Метод, модель та інформаційна технологія визначення сталості інформації при дистанційному контролі стану технічних об'єктів. *Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології*. 2021. № 92. DOI: 10.32620/oikit.2021.92.12.

(Особистий внесок здобувача: реалізація методу визначення сталості інформації, створення графічного інтерфейсу користувача)

2. Результати вимірювань параметрів механічних коливань балки з використанням РЛС міліметрового діапазону / Р. Е. Пащенко та ін. *Технология приборостроения, научно-технический журнал*. 2018. № 2. С. 55-59.

(Особистий внесок здобувача: проведення експериментів, обробка отриманих результатів)

3. Полярус О. В., Лебединський А. В. Дистанційне визначення діелектричної проникності бетонної плити мостової споруди. *Технология приборостроения, научно-технический журнал*. 2019. № 2. С. 62-65.

(Особистий внесок здобувача: реалізація методу визначення діелектричної проникності мостової споруди)

4. Measurement of the Bridge Surface Deflections Using Near-Field Amplitude of Secondary Radiators System / A. V. Lebedynskyi et al. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*. 2017. Vol. 2, № 6. P. 217-224.

(Особистий внесок здобувача: проведення експериментів, обробка результатів експериментів, моделювання системи із вторинними випромінювачами, отримання результатів моделювання)

5. Influence of Measurements Uncertainty on Uncertainty of Gilbert-Huang Transform Modes / A. Lebedynskyi et al. *Proceedings of 2019 IEEE 8th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers, CAOL 2019, Sozopol, Bulgaria, 6-8 September, 2019, pp.* 2019. P. 644-647. DOI: 10.1109/caol46282.2019.9019512.

(Особистий внесок здобувача: аналіз впливу невизначеності вимірювань сигналу на невизначеність його мод Гільберта-Хуанга, моделювання залежностей мод при ідентифікації систем, отримання результатів моделювання).

6. Poliarus O. V., Poliakov Y. A., Lebedynskyi A. V. Measurement of Bridges Dynamic Deflections Using Arrays of Secondary Radiators. *IEEE Ukrainian Microwave week (UkrMW)*. 2020. № 1. P. 97-100.

(Особистий внесок здобувача: проведення експериментів, обробка результатів експериментів, моделювання системи із вторинними випромінювачами, отримання результатів моделювання)

7. Poliarus O., Poliakov Y., Lebedynskyi A. Detection of landmarks by autonomous mobile robots using camera-based sensors in outdoor environments. *IEEE Sensors Journal*. 2021. Vol. 21, № 10. P. 11443-11450. DOI: 10.1109/JSEN.2020.3010883.

(Особистий внесок здобувача: проведення розкладання зображень фону та орієнтиру на складові кольоровості, створення графіків залежностей,

визначення законів розподілення ймовірностей, отримання результатів моделювання)

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

8. Poliarus O. V., Lebedynskyi A. V. Method for Determining Information Stability in Information Technologies at Technical Objects. *Computer technology and mechatronics* : proceedings of the third international scientific and methodical conference, Kharkiv, 27-28 May 2021. Kharkiv: KhNAH, 2021. P. 145-147.

(Особистий внесок здобувача: доповідав та брав участь у обговоренні результатів, реалізував метод визначення сталості інформації, підготував основну частину тексту)

9. Poliarus O. V., Poliakov Ye. O., Lebedynskyi A. V. Method of determining measurement information value for bridges safety. *Проблеми надзвичайних ситуацій. Матеріали конференції.* : Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Problems of Emergency Situations», м. Харків, 20-21 травня 2021. Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2021. С. 77-78.

(Особистий внесок здобувача: доповідав та брав участь у обговоренні результатів, реалізував метод визначення цінності інформації, підготував основну частину тексту)

10. Полярус О. В., Краснов С. М., Лебединський А. В. Метод дистанційного визначення коефіцієнта динамічності мостової споруди вимірювальною інформаційною системою малої вартості. *Метрологія, інформаційно-вимірювальні технології та системи* : Матеріали 7-ї Міжнародної науково-технічної конференції «Метрологія, інформаційно-вимірювальні технології та системи» (МІВТС-2020), г. Харків, 28-29 січня 2020. Харків: Український метрологічний журнал, 2020. С. 110-111.

(Особистий внесок здобувача: брав участь у обговоренні результатів, промоделював метод визначення коефіцієнта динамічності мостової споруди

вимірювальною інформаційною системою малої вартості, підготував основну частину тексту)

11. Лебединський А. В. Оцінка стаціонарності за допомогою методу зворотного розподілення. *Метрологічні аспекти прийняття рішень в умовах роботи на техногенно небезпечних об'єктах* : Матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, м. Харків, 4-5 листопада 2019. Харків: ХНАДУ, 2019. С. 173-175. URL: https://dl.khadi.kharkov.ua/pluginfile.php/58643/mod_resource/content/1/sbornik_konf_2019.pdf. (дата звернення: 19.11.2020).

12. Лебединський А. В. *Застосування перетворення Гільберта-Хуанга в ІТ-технологіях. Комп'ютерні технології і мехатроніка* : Збірник наукових праць за матеріалами міжнародної науково-практичної конференції «Комп'ютерні технології і мехатроніка», м. Харків, 28-29 Травня 2020. Харків: ХНАДУ, 2020. С. 114-117.

13. Лебединський А. В., Янушкевич С. Д. Оцінка точності апроксимації нестаціонарних сигналів емпіричними модами Гільберта-Хуанга. *Комп'ютерні технології і мехатроніка* : Збірник наукових праць за матеріалами міжнародної науково-практичної конференції «Комп'ютерні технології і мехатроніка», м. Харків, 30-31 Травня 2019. Харків: ХНАДУ, 2019. С. 109-112.

(Особистий внесок здобувача: доповідав та брав участь у обговоренні результатів, оцінив точність апроксимації нестаціонарних сигналів емпіричними модами Гільберта-Хуанга, побудував графіки, підготував основну частину тексту)

14. Lebedynskiy A. V. Hilbert-Huang Transform and its Application. *Студентство. Наука. Іноземна мова* : Збірник наукових праць студентів, аспірантів та молодих науковців, м. Харків, 20-21 Травня 2019. Харків: ХНАДУ, 2019.

15. Лебединський А. В. Подготовка экспериментальных данных колебания модели балки моста к обработке. *Мости, тунелі і дороги: стан,*

проблеми утримання та перспективи підвищення довговічності :
Всеукраїнська науково-практична Інтернет конференція, м. Харків, 25-26
March 2018. Харків: ХНАДУ, 2018. URL:
https://dl.khadi.kharkov.ua/pluginfile.php/49375/mod_resource/content/2/СБОРН_ИК.pdf. (дата звернення: 25.08.2021).

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

16. Спосіб дистанційного визначення коефіцієнта динамічності і форми деформованої поверхні мостових споруд або інших великогабаритних об'єктів: пат. 124207 Україна. № 201710597; заявл. 01.11.2017; опубл. 26.03.2018.

(Особистий внесок здобувача: брав участь у обговоренні результатів, підготував основну частину тексту, провів моделювання, отримав і обробив результати моделювання)

17. Спосіб дистанційного визначення коефіцієнта динамічності і форми деформованої поверхні мостових споруд або інших великогабаритних об'єктів: пат. 118730 Україна. № 201710596; заявл. 01.11.2017; опубл. 25.02.2019.

(Особистий внесок здобувача: брав участь у обговоренні результатів, підготував основну частину тексту, провів моделювання, отримав і обробив результати моделювання)

18. Спосіб дистанційного визначення динамічних прогинів і форми деформованої поверхні мостових споруд або інших великогабаритних об'єктів: пат. 146478 Україна. № 202005999; заявл. 21.09.2020; опубл. 24.02.2021.

(Особистий внесок здобувача: брав участь у обговоренні результатів, підготував основну частину тексту, провів моделювання, отримав і обробив результати моделювання)

19. Спосіб виявлення циліндроподібних наземних орієнтирів при навігації автономних мобільних роботів: пат. 146486 Україна. № 202006061; заявл. 22.09.2020; опубл. 24.02.2021.

(Особистий внесок здобувача: брав участь у обговоренні результатів, підготував основну частину тексту, провів моделювання, отримав і обробив результати моделювання)

20. Спосіб виявлення циліндроподібних орієнтирів при навігації автономних мобільних роботів: пат. 146487 Україна. № 202006062; заявл. 22.09.2020; опубл. 24.02.2021.

(Особистий внесок здобувача: брав участь у обговоренні результатів, підготував основну частину тексту, провів моделювання, отримав і обробив результати моделювання)