

СПЕЦІАЛІЗОВАНІ ПРИСТРОЇ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ДЛЯ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОБЕРТОВИХ ТА НЕОБЕРТОВИХ ЧАСТИН МЕХАНІЗМІВ*

М.Г. Шульженко¹, О.Ф. Поліщук¹, Ю.Г. Єфремов², К.В. Аврамов¹

¹Інститут проблем машинобудування НАН України ім. А.М. Підгорного, 61046, м. Харків,
вул. Пожарського, 2/10. E-mail: ipmach@ipmach.kharkov.ua

²ТОВ «СКБ Вібрації та ресурсу». 61072, м. Харків, пр. Науки, 60. E-mail: iefremov.ua@gmail.com

Викладено результати розробок інтелектуальних датчиків вібрації та спеціалізованих пристроїв діагностування і неруйнівного контролю технічного стану агрегатів та вузлів енергетичного обладнання. Створено інтелектуальні датчики вібропереміщення та віброшвидкості, що складаються з первинного та функціонального перетворювачів. Вони забезпечують автоматичну компенсацію впливу температури та нелінійності амплітудно-частотної характеристики датчика, автоматичне налаштування амплітудного діапазону вимірювання, контроль вібропараметрів у заданих смугах частот і автоматичну перевірку справності функціонування. Створено вихорострумкові пристрої для виявлення тріщин в деталях нарізних з'єднань та теплових канавках роторів. Розроблені інтелектуальні датчики та пристрої використовуються для контролю вібрації потужних турбоагрегатів та наявності тріщин в нарізних елементах. Бібліогр. 4, табл. 1, рис. 4.

Ключові слова: інтелектуальний датчик вібрації, вихорострумковий перетворювач, вібрація, діагностування турбоагрегатів, виявлення тріщин

Сучасний рівень розвитку мікроелектроніки дозволяє створити інтелектуальні датчики та спеціалізовані пристрої неруйнівного контролю, що забезпечують необхідний рівень метрологічних та експлуатаційних характеристик в режимі реального часу.

Метою роботи є створення новітніх інтелектуальних датчиків та спеціалізованих пристроїв для оцінки наявного технічного стану обладнання агрегатів та вузлів ТЕС та ТЕЦ України.

Інтелектуальний датчик являє собою засіб вимірювання з мікроконтролером, що виконує наступні функції:

- цифрову обробку сигналів;
- автоматичну компенсацію впливу параметрів навколишнього середовища;
- автоматичну перевірку справності функціонування (самодіагностування);
- дистанційне конфігурування (діапазону вимірювань, одиниць вимірювань);
- передавання отриманої інформації з використанням протоколів промислових мереж.

Інтелектуальний датчик віброшвидкості для оцінки вібраційного стану необертюваних частин обладнання. Датчик складається з первинного та функціонального перетворювачів. Функціональний перетворювач призначений для цифрової обробки сигналу первинного перетворювача та видачі інфор-

мації у аналоговому та цифровому вигляді. Функціональний перетворювач включає наступні модулі:

- вхідний модуль для подачі електроживлення на первинний перетворювач, посилення і обмеження частотно-модульованого сигналу;
- мікроконтролер типу STM32 для обробки сигналу первинного перетворювача;
- вихідний модуль для нормування сигналу, пропорційного вимірюваній величині [1].

Створені інтелектуальні датчики віброшвидкості з однокомпонентним вихорострумковим первинним перетворювачем використовуються для контролю вібрації опор трьох турбоагрегатів К-300-240. Вимірювання проводяться паралельно на всіх опорах турбоагрегата у трьох напрямках (вертикальному, горизонтально-поперечному та осьовому). Для реєстрації вібраційних параметрів датчики підключаються до робочої станції штатної автоматизованої системи вібродіагностики (АСВД), впровадженої раніше Інститутом проблем машинобудування НАН України на турбоагрегатах. Для перетворення аналогового сигналу з інтелектуальних датчиків віброшвидкості у цифровий сигнал використовується плата АЦП Е-14-440 (виробництва LCard) робочої станції системи. З аналогового виходу інтелектуальних датчиків сигнал по напрузі подається на вхід плати АЦП Е-14-440. Реєстрація вібропараметрів здійсню-

* За результатами виконання цільової комплексної програми НАН України «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин» («Ресурс»), отриманих за 2016-2020 рр.

Єфремов Ю.Г. – <https://orcid.org/0000-0002-2559-5747>

© М.Г. Шульженко, О.Ф. Поліщук, Ю.Г. Єфремов, К.В. Аврамов, 2020

ється з використанням програмного забезпечення АСВД турбоагрегата.

Інтелектуальний датчик вібропереміщення для оцінки вібраційного стану обертових частин обладнання. Датчик складається з однокомпонентного вихорострумowego безконтактного первинного та вторинного функціональних перетворювачів. Структура вихорострумowych

перетворювачів та принцип їх функціонування описані у [2].

Безконтактний однокомпонентний вихорострумовой первинний перетворювач вібропереміщення V-01.1 та його модифікації V-01.2, V-01.K, V-01.3 наводяться на рис. 1. Вони різняться за формою і розміром вимірювальної котушки індуктивності та матеріалами, з яких зроблено корпус первинного перетворювача. Розмір та форма вимірювальної котушки індуктивності впливають на діапазон вимірювання вібропереміщення (переміщення). У таблиці приводяться діапазони вимірювання вібропереміщення (переміщення) для різних модифікацій первинного перетворювача та рекомендації щодо їх використання (призначення).

Відмінність нового вихорострумowego первинного перетворювача від раніше створених полягає в тому, що в ньому використано додаткові елементи для забезпечення функції компенсації впливу



Рис. 1. Зовнішній вигляд первинних перетворювачів: а – V-01.1; б – V-01.2; в – V-01.K; г – V-01.3

Рекомендації щодо використання первинних перетворювачів

Модифікація	Діапазон вимірювання розмаху вібропереміщення, мкм	Діапазон вимірювання переміщення, мм	Призначення
V-01.1	20...500	0...4	Контроль вібропереміщення ротора, осьового зсуву, викривлення ротора
V-01.2	20...1000	0...10	Контроль вібропереміщення ротора, відносного розширення ротора
V-01.K	20...1000	0...10	Контроль вібропереміщення контактних кілець щітково-контактного апарата турбоагрегата
V-01.3	20...1000	0...100	Контроль теплового розширення циліндра турбіни

температури (датчик температури, мікроконтролер

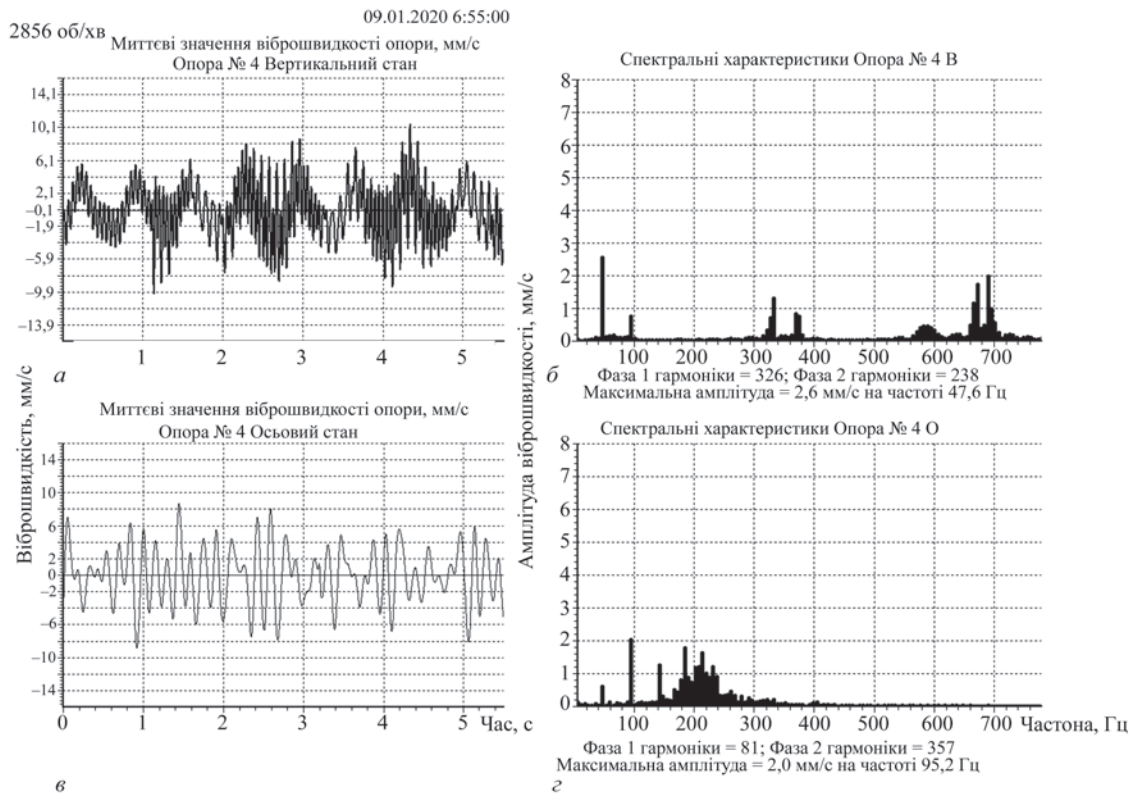


Рис. 2. Значення та спектри віброшвидкості опори на перехідному режимі роботи агрегату.

типу PIC10 та ін.). Для мікроконтролера первинного перетворювача розроблено програму обробки сигналу з температурного датчика та формування значення температури у цифровому вигляді. Датчики використовуються на турбоагрегатах К-300-240, К-200-130 та Т-250/300-240. За допомогою датчиків отримуються спектральні характеристики вібропереміщення роторів турбоагрегатів і тренди розмаху вібропереміщення контактних кілець щітково-контактних апаратів. У ННЦ «Інститут метрології» отримано сертифікат калібрування інтелектуального датчика вібропереміщення.

Пристрій діагностування вібраційного стану енергетичного обладнання. Пристрій має функції моніторингу, візуалізації, аналізу параметрів коливань та архівації даних на постійному носії. За результатами випробування створених раніше інтелектуальних датчиків вібрації в умовах ТЕЦ розроблено нове програмне забезпечення для мікроконтролерів функціональних перетворювачів, що дозволило розширити функціональні можливості створених датчиків [3]. Проведено модернізацію пристроїв контролю середньоквадратичних значень віброшвидкості опор автоматизованих систем вібродіагностики турбоагрегата К-300-240 (енергоблоки №№ 1, 3, 4 Трипільська ТЕС) та отримано відповідні метрологічні документи на системи.

Приклад представлення інформації про вібраційний стан турбоагрегата наводиться на рис. 2, 3, де показано миттєві значення та спектральні складові

ві віброшвидкості опори у двох напрямках – вертикальному та вздовж осі агрегату у різний час доби.

Наведені графіки свідчать, що вібраційні характеристики, отримані за допомогою інтелектуальних датчиків, характеризують різні режими роботи турбоагрегата. В даному прикладі на перехідному режимі включається трьохплунжерна помпа, що відображається на спектрі вібрації в діапазоні 600...700 Гц. Окрім наведених на рис. 3, 4 параметрів, візуалізуються також в графічній формі зміни середньоквадратичного значення віброшвидкості опор протягом доби та фазові характеристики для всіх опор турбоагрегата. Останні використовуються для оцінки стійкості вібрації агрегату.

Дослідження вібраційних характеристик турбоагрегатів великої потужності. Створені інтелектуальні датчики визначення параметрів вібрації обертових та необертових вузлів енергетичного обладнання застосовано для оцінки вібраційного стану турбоагрегатів потужністю 200 та 300 МВт. За результатами дослідження вібраційних характеристик турбоагрегата К-200-130 (Луганська ТЕС) виявлено причини нестабільного вібраційного стану контактних кілець ротора генератора ТГ-9. Для цього персоналом служби віброналагодження та діагностики була розроблена програма випробувань на різних перехідних та номінальних режимах роботи турбоагрегата. Аналіз вібрації контактних кілець проведено на основі визначення їх вібраційного переміщення за допомогою інтелектуальних датчиків ІД-ВП-01(К).

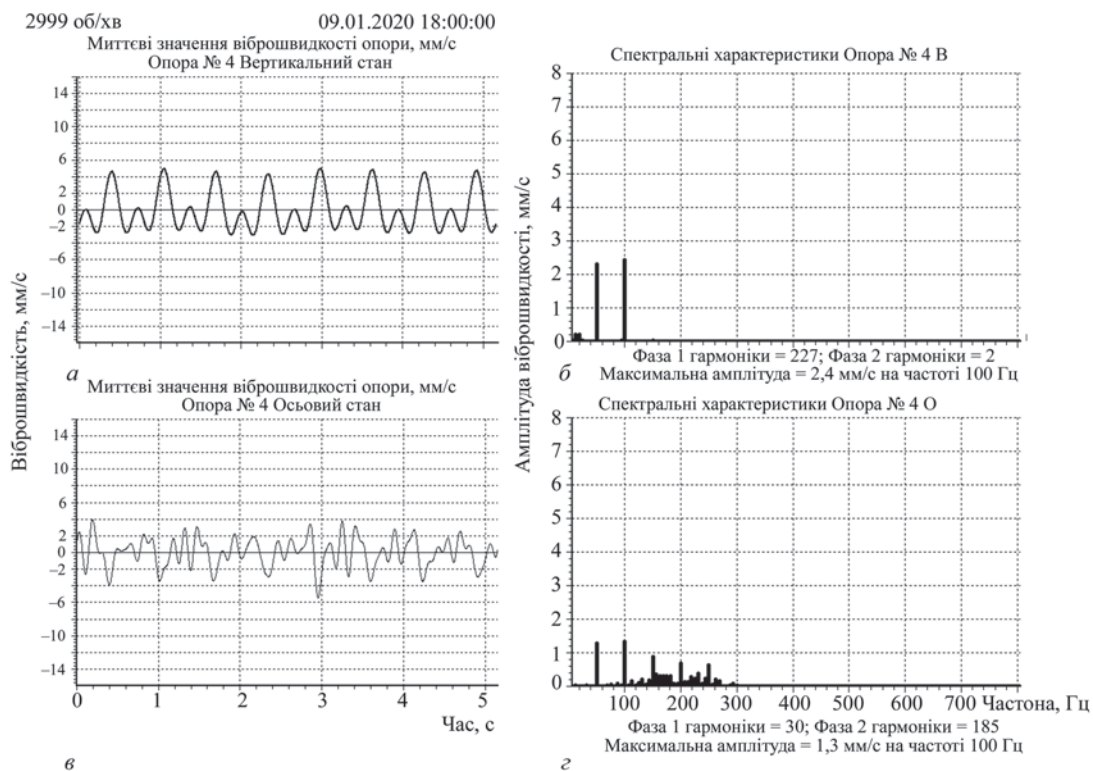


Рис. 3. Значення та спектри віброшвидкості опори на стаціонарному режимі роботи агрегату



Рис. 4. Вихороструміві пристрої

Для турбоагрегатів К-300-240 енергоблоків №№ 3, 4 Трипільської ТЕС проводився аналіз вібрації семи підшипникових опор. За допомогою впроваджених інтелектуальних датчиків встановлено залежність вібраційних характеристик від режимів роботи агрегатів. За результатами досліджень параметрів вібрації турбоагрегатів розроблено рекомендації щодо покращення вібраційного стану та підвищення надійності роботи енергоблоків.

Вихорострумівий пристрій для контролю наявності тріщин в деталях нарізних з'єднань. Створено пристрій для оцінки наявності тріщин у нарізних з'єднаннях вузлів енергетичного та транспортного обладнання (рис. 4, а), та експериментальний зразок вихорострумівого пристрою для виявлення тріщин в теплових канавках роторів (рис. 4, б).

Експериментальними дослідженнями створених вихорострумівих перетворювачів та їх удосконаленням досягнути амплітудні та фазові характеристики, що забезпечують виявлення дефектів у розрізі глибиною до 4 мм – для феромагнітних та до 10 мм – для неферомагнітних металів.

У пристрої для виявлення тріщин в теплових канавках роторів використовується спеціально розроблений вихорострумівий перетворювач на Ш-подібному феритовому осердді. Експериментальні дослідження таких перетворювачів показали їх високу чутливість до дефекту із допустимим робочим проміжком до 4 мм при контролі деталей з феромагнітних металів [4]. Наявність такого проміжку важлива тому, що в процесі експлуатації турбоагрегата в теплових канавках з'являються різного роду нашарування, які заважають проведенню якісної дефектоскопії. Профіль перетворювача повторює форму теплової канавки, товщина робочої частини разом з екраном 3 мм. Сигналізація про наявність тріщини світлова та звукова. Пристрій успішно випробувано на зразку з тепловою канавкою при виявленні в ній штучної тріщини.

Створені при виконанні роботи за вказаним проектом інтелектуальні датчики, пристрої та системи діагностування можуть бути застосовані для

діагностування технічного стану інших об'єктів промисловості.

Висновки

1. Вперше в Україні розроблено інтелектуальний датчик вібропереміщення (переміщення) для оцінки вібраційного стану обертових та датчик віброшвидкості для необертових частин обладнання.

2. Створено пристрій діагностування вібраційного стану обладнання з функціями моніторингу, візуалізації, аналізу параметрів коливань та архівації даних на постійному носії з використанням створених інтелектуальних датчиків вібрації.

3. Проведено модернізацію пристроїв контролю вібрації автоматизованих систем вібродіагностики турбоагрегату К-300-240 (енергоблоки №№ 1, 3 Трипільська ТЕС) та отримано відповідні метрологічні документи на системи.

4. Створені інтелектуальні датчики визначення параметрів вібрації обертових та необертових вузлів енергетичного обладнання використовуються для оцінки вібраційного стану турбоагрегатів потужністю 200 та 300 МВт.

5. Створені вихороструміві пристрої з перетворювачами різних типів використовується для контролю деталей та вузлів бурового обладнання в управлінні «Укрбургаз», а також для контролю бабітового шару шатунних підшипників газомоторних компресорів.

Список літератури

1. Шульженко М.Г., Єфремов Ю.Г., Депарма О.В., Цибулько В.Й. (2017) Датчик віброшвидкості з функціями контролю і аналізу вібраційних параметрів енергообладнання. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування*. Харків, НТУ «ХПІ», 8 (1230), 63–68. ISSN 2078-774X.
2. Шульженко М.Г., Гармаш Н.Г., Єфремов Ю.Г. та ін. (2018) Інтелектуальний датчик вібропереміщення з функціями контролю й аналізу вібраційних параметрів енергообладнання. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування*. Харків, НТУ «ХПІ», 11 (1287), 40–46.
3. Єфремов Ю.Г. (2015) Методико-алгоритмічне забезпечення функціонування мобільного комплексу з оцінки вібраційного стану енергетичних агрегатів. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування*. Харків, НТУ «ХПІ», 17 (1126), 111–116.
4. Поліщук О., Тертишний І., Шульженко М. (2019) *Контроль наявності тріщин у нарізних з'єднаннях вихорострумівим методом. 14-й Міжнародний симпозиум українських інженерів-механіків у Львові* (м. Львів, 23–24 травня 2019 р.). Матеріали симпозиуму. Львів, КІНПА-ТРІ ЛТД, 40–42.

References

1. Shulzhenko, M.G., Efremov, Yu.G., Deparma, O.V., Tsybulko, V.Yo. (2017) Sensor of vibration velocity with functions of monitoring and analysis of vibration parameters of power equipment. *Visnyk NTU KhPI. Seriya: Energetychni ta Teplotekhnichni Protsesty i Ustatkuvannia*. Kharkiv, NTU KhPI, 8(1230), 63–68. – ISSN 2078-774X [in Ukrainian].
2. Shulzhenko, M.G., Efremov, Yu.G., Deparma, O.V., Tsybulko, V.Yo. (2018) Intelligent sensor of vibration displacement with

- functions of monitoring and analysis of vibration parameters of power equipment. *Visnyk NTU KhPI. Seriya: Energetychni ta Teplotekhnichni Protsessy i Ustatkuvannia. Kharkiv, NTU KhPI*, 11(1287), 40–46 [in Ukrainian].
3. Efremov, Yu.G. (2015) Procedural-algorithmic support of functioning of a mobile complex for evaluation of vibration condition of power units. *Visnyk NTU KhPI. Seriya: Energetychni ta Teplotekhnichni Protsessy i Ustatkuvannia. Kharkiv, NTU KhPI*, 17(1126), 111–116 [in Ukrainian].
4. Polishchuk, O., Tertyshnyi, I., Shulzhenko, M. (2019) *Control of cracking in threaded connections by eddy-current method. In: Proc. of 14th Int. Symposium of Ukrainian Mechanical Engineers* (Lviv, 23–24 May, 2019). Lviv, KIN-PATRI Ltd, 40–42 [in Ukrainian]

SPECIALIZED NON-DESTRUCTIVE TESTING DEVICES FOR EVALUATION OF THE TECHNICAL CONDITION OF ROTARY AND NON-ROTARY PARTS OF MECHANISMS

M.G. Shulzhenko¹, O.F. Polishchuk¹, Yu.G. Iefremov², K.V. Avramov¹

¹A.M. Pidhorny Institute of Mechanical Engineering Problems of NAS of Ukraine. 2/10 Pozharsky Str., 61000, Kharkiv, Ukraine.

E-mail: ipmach@ipmach.kharkov.ua

² «JDB Vibratsii ta resurs», LTD. 60 Nauki Prosp., 61072, Kharkiv, Ukraine. E-mail: iefremov.ua@gmail.com

Results of development of intelligent vibration sensors and specialized devices for diagnosing and nondestructive testing of the technical condition of units and components of power equipment are presented. Intelligent vibration displacement and vibration velocity sensors, consisting of the primary and functional transducers, were developed. They provide automatic compensation for the impact of temperature and nonlinearity of the sensor amplitude-frequency characteristics, automatic setting up of the amplitude measurement range, monitoring vibration parameters in the set frequency bands and automatic checking of correct functioning. Eddy current devices for detecting cracks in the parts of threaded connections and heat flutes of rotors were designed. The developed intelligent sensors and devices are used for monitoring vibration of powerful turbosets and detecting cracks in threaded elements. 4 Ref., 1 Table, 4 Fig.

Keywords: intelligent sensor, vibrations, eddy current transducer, vibration, diagnosing turbosets, crack detection

Надійшла до редакції
09.07.2020

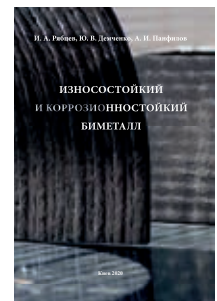
НОВА КНИГА

Рябцев И.А., Демченко Ю.В., Панфилов А.И. Износостойкий и коррозионностойкий биметалл. – Киев: Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, 2020. – 224 с.

Наведено класифікацію багат шарових металів, описано основні способи їх виробництва, охарактеризовано структуру і властивості матеріалів, які застосовуються в якості основного і плакуючого шарів. Висвітлено питання теорії і практики отримання багат шарових матеріалів, наведено методики оцінки якості і властивостей багат шарових матеріалів, отриманих різними способами. Велику увагу приділено особливостям їх зварювання і застосування в різних галузях промисловості.

Книга розрахована на інженерно-технічних працівників, зайнятих в області наплавного і ремонтного виробництва. Може бути корисною викладачам, аспірантам і студентам технічних університетів.

Замовлення на книгу прохання надсилати в редакцію журналу.



НОВА КНИГА (анонс)

«ОСНОВЫ СТРУКТУРНОЙ ЦЕЛЮСНОСТИ ТА РУЙНУВАНЬ»

(The Fundamentals of Structural Integrity and Failure)

Richard M. Wilcox (редактор)

Серія: Конструкційні матеріали та техніка

ISBN: 978-1-53618-778-6: 2021, Nova Science and Technology

Дата публікації: січень 2021 р. Статус: в виробництві. 195 дол.

ЗМІСТ

Передмова

Глава 1. Оцінка структурної цілісності відпрацьованого ядерного палива (Belal Almoman, Department of Nuclear and Quantum Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Yuseong-gu, Daejeon, Republic of Korea)

Глава 2. Питання структурної цілісності внаслідок зародження тріщин, ініціювання та зростання (Xijia Wu and Zhong Zhang, Aerospace Research Center, National Research Council Canada, Ottawa, Canada)

Глава 3. Моделювання, обчислення, вимірювання та обробка сигналів для оцінки цілісності інженерних конструкцій в умовах невизначеності (Ajoy Kumar Das, Big Top Manufacturing, Перрі, Флорида, США)

Глава 4. Виявлення вихрострумових тріщин у феромагнітних сталевих конструкціях (Валентин Учанін та Джузеппе Нардоні, Фізико-механічний інститут ім. Карпенка НАНУ, Львів, Україна та інші)

Глава 5. Вимірювання коерцетивної сили для моніторингу цілісності конструкцій

(Валентин Учанін, Орест Осташ, Джузеппе Нардоні та Роман Соломаха, Фізико-механічний інститут ім. Карпенка НАНУ, Львів, Україна та інші)

Глава 6. Прогнозування та виявлення несправностей у посудинах під тиском: Фільтр Вінера, застосований до негативно відібраних штучних імунологічних систем

(R. Outa, F. R. Chavarette, A. P. Gonçalves and S. L. Da Silva, FATEC Araçatuba, Faculty of Technology of Araçatuba, Department of Biofuels, Ipanema, Araçatuba, SP, Brazil, and others)

Замовляйте книгу зі знижкою по посиланню:

<https://novapublishers.com/shop/the-fundamentals-of-structural-integrity-and-failure/>