

Розробка методичного забезпечення та макетного зразку системи моніторингу на основі концепції Structural Health Monitoring

Разработка методического обеспечения и макетного образца системы мониторинга на основе концепции Structural Health Monitoring

Development of methodological support and model sample of monitoring system based on the concept of Structural Health Monitoring

1. Номер державної реєстрації теми – 0115U000318

2. Науковий керівник- д.т.н., проф. Бурай Н.І., Бурай Н.И., Bouraou Nadiia I.

3. Суть розробки, основні результати.

(укр.)

Проведено обґрунтування та розробку методичного забезпечення структурного моніторингу технічного стану металевих елементів конструкції складних просторових об'єктів, виконано технічну реалізацію системи моніторингу на основі концепції Structural Health Monitoring у макетному зразку. Отримано імітаційні та фізичні діагностичні моделі складного просторового об'єкта – резервуара для зберігання еколого-небезпечних речовин, проведено їх дослідження, підтверджено адекватність моделей.

Розроблено методичне, алгоритмічне та програмне забезпечення для оцінювання та прогнозування структурної стійкості об'єкту в умовах динамічних навантажень та під впливом зміни технічного стану об'єкта. Розроблено інформаційну модель та структурну схему системи моніторингу, алгоритмічне та програмне забезпечення для визначення і візуалізації параметрів напружено-деформованого стану, вібрації та просторового положення об'єкту під впливом динамічних навантажень. Обґрунтовано структуру вимірювальних каналів макетного зразку системи, сформовано та налагоджено такі вимірювальні канали: канал вимірювання вібрації; канал визначення просторового положення об'єкта; канал визначення параметрів напружено-деформованого стану елементів конструкцій об'єкта. Розроблено методики та проведено калібрування вібраційних датчиків. Обґрунтовано та розроблено блок бездротової передачі даних, розроблено алгоритмічне і програмне забезпечення.

Розроблено макетний зразок системи моніторингу, технологічне програмне забезпечення для його реалізації та функціонування. Розроблено методики та проведено лабораторні випробування макетного зразку системи моніторингу, в результаті встановлено залежності вібраційних (спектральних, модальних, фрактальних та статистичних) характеристик, параметрів напружено-деформованого стану та параметрів просторового положення об'єкта від зміни його функціонального стану і динамічних навантажень, за якими приймається рішення про поточний технічний стан об'єкта та прогнозуються його зміни.

(рос.)

Проведено обоснование и разработку методического обеспечения структурного мониторинга технического состояния металлических элементов конструкции сложных пространственных объектов, выполнено техническую реализацию системы мониторинга на основе концепции Structural Health Monitoring путем создания макетного образца системы. Получены имитационные и физические диагностические модели сложного пространственного объекта – резервуара для хранения эколого-опасных веществ, проведено их исследование и подтверждена адекватность моделей.

Разработано методическое, алгоритмическое и программное обеспечение для оценивания и прогнозирования структурной устойчивости объекта в условиях динамических нагрузок и под влиянием изменения технического состояния объекта. Разработана информационная модель и структурная схема системы мониторинга, алгоритмическое и программное обеспечение для определения и визуализации параметров напряженно-деформированного состояния, вибрации и пространственного положения объекта под влиянием динамических нагрузок. Обоснована структура измерительных каналов макетного образца системы, сформированы и настроены та-

кие измерительные каналы: канал измерения вибрации; канал определения пространственного положения объекта; канал определения параметров напряженно-деформированного состояния элементов конструкции объекта. Разработаны методики и выполнена калибровка вибрационных датчиков. Обоснован и разработан блок беспроводной передачи данных, разработано алгоритмическое и программное обеспечение.

Разработан макетный образец системы мониторинга, технологическое программное обеспечение для его реализации и функционирования. Разработаны методики и проведены лабораторные испытания макетного образца системы мониторинга, в результате установлены зависимости вибрационных (спектральных, модальных, фрактальных и статистических) характеристик, параметров напряженно-деформированного состояния и пространственного положения объекта от изменения его функционального состояния и динамических нагрузок, по которым принимается решение о текущем техническом состоянии объекта и прогнозируются его изменения.

(англ.)

A study and development of methodological support structural monitoring of the technical state of metallic structural elements of complex spatial objects are carried out, the technical implementation monitoring system based on the concept of Structural Health Monitoring in mock sample is made. The simulation and physical models of complex spatial diagnostic object – the tank for storage of hazardous substances are given, the adequacy of models is confirmed.

Methodological support, algorithms and software are developed for evaluation and prediction of structural stability of object under dynamic loads and during changes in the technical condition of the object. The information model and block diagram of the monitoring system are designed, algorithmic and software are developed for identification and visualization options deflected mode of vibration and the spatial position of the object under the influence of dynamic loads. It is grounded of the structure measuring channel of model specimen of the system, the following measuring channels are formed and arranged: the channel of vibration measuring; the channel for determination of the object spatial position; the channel for the definition of parameters of stress-strain state of structural elements of the object. The methods are developed and vibration sensors are calibrated. The wireless data unit, algorithmic and software are developed.

The model sample of monitoring system is developed, software for its implementation and operation is developed. The procedure is designed and laboratory tests of model sample of monitoring system are carried out, dependencies of vibration (spectral, modal, fractal and statistical) characteristics, parameters of the stress-strain state and spatial parameters of the object are received to change its functional state and dynamic loads. These dependencies are used for decision making on the current technical condition and prediction of its changes.

4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності:

1. Пат. 105209 України на корисну модель, МПК G01H 17/00. Універсальний вібраційний перетворювач / Кузнецов О.В., Павловський О. М., заявник та патентовласник НТУУ «КПІ». . – №u201508242; заявл. 20.08.2015; опубл. 10.03.2016, Бюл. №5, 2016 р.

2. Свідоцтво № 61751 України про реєстрацію авторського права на твір. Комп'ютерна програма «Програма обробки сигналів вібрації» [Текст] / Цибульник С.О., Шевчук Д.В., Півторак Д.О. (Україна); заявник та власник Цибульник С.О., Шевчук Д.В., Півторак Д.О. – № 61751; зареєстровано 18.09.2015 в Державній службі інтелектуальної власності України.

3. Свідоцтво № 61750 України про реєстрацію авторського права на твір. Комп'ютерна програма «Програма візуального відображення даних тензометричних вимірювань» [Текст] / Цибульник С.О., Півторак Д.О. (Україна); заявник та власник Цибульник С.О., Півторак Д.О. – № 61750; зареєстровано 18.09.2015 в Державній службі інтелектуальної власності України.

4. Свідоцтво № 62911 України про реєстрацію авторського права на твір. Комп'ютерна програма «Програма візуального відображення даних комплексних вимірювань напружень та кутового положення об'єктів» [Текст] / Цибульник С.О., Півторак Д.О. (Україна); заявник та власник Цибульник С.О., Півторак Д.О. – № 62911; зареєстровано 10.12.2015 в Державній

службі інтелектуальної власності України.

5. Свідоцтво № 62913 України про реєстрацію авторського права на твір. Комп'ютерна програма «Програма обробки сигналів вібрації з обмеженням смуги пропускання» [Текст] / Цибульник С.О., Шевчук Д.В., Півторак Д.О. (Україна); заявник та власник Цибульник С.О., Шевчук Д.В., Півторак Д.О. –№ 62913; зареєстровано 10.12.2015 в Державній службі інтелектуальної власності України.

6. Свідоцтво № 65191 України про реєстрацію авторського права на твір. Комп'ютерна програма «Потоковий алгоритм обчислення варіацій Аллана» [Текст] Лакоза С.Л., Півторак Д.О. (Україна); заявник та власник Лакоза С.Л., Півторак Д.О. - № 65628; заявл. 03.03.2016; зареєстровано 05.05.2016 р. в Державному реєстрі свідоцтв про реєстрацію авторського права на твір.

7. Свідоцтво № 65193 України про реєстрацію авторського права на твір. Комп'ютерна програма «Програма зчитування, запису, передачі та відображення вібраційних параметрів об'єкта» [Текст] Кравченко В. А., Цибульник С. О., Півторак Д.О. (Україна); заявник та власник Кравченко В. А., Цибульник С. О., Півторак Д.О. - № 65630; заявл. 03.03.2016; зареєстровано 05.05.2016 р. в Державному реєстрі свідоцтв про реєстрацію авторського права на твір.

8. Свідоцтво № 65358 України про реєстрацію авторського права на твір. Комп'ютерна програма «Програма обробки вибірки даних методом Проні» [Текст] Цибульник С.О., Шевчук Д.В., Півторак Д.О. (Україна); заявник та власник Цибульник С.О., Шевчук Д.В., Півторак Д.О. - № 65874; заявл. 15.03.2016; зареєстровано 17.05.2016 р. в Державному реєстрі свідоцтв про реєстрацію авторського права на твір.

9. Свідоцтво № 65360 України про реєстрацію авторського права на твір. Комп'ютерна програма «Програма обробки вибірки даних методом Штейгліца-МакБрайда» [Текст] Цибульник С.О., Шевчук Д.В., Півторак Д.О. (Україна); заявник та власник Цибульник С.О., Шевчук Д.В., Півторак Д.О. -№ 65876; заявл. 15.03.2016; зареєстровано 17.05.2016 р. в Державному реєстрі свідоцтв про реєстрацію авторського права на твір.

10. Свідоцтво № 65359 України про реєстрацію авторського права на твір. Комп'ютерна програма «Програма знаходження показника Хьорста» [Текст] Цибульник С.О., Шевчук Д.В., Півторак Д.О. (Україна); заявник та власник Цибульник С.О., Шевчук Д.В., Півторак Д.О. - № 65875; заявл. 15.03.2016; зареєстровано 17.05.2016 р. в Державному реєстрі свідоцтв про реєстрацію авторського права на твір.

11. Свідоцтво № 65688 України про реєстрацію авторського права на твір. Комп'ютерна програма «Програма реалізації принципу роботи брегівських волоконно-оптичних датчиків при різних рівнях деформації» [Текст] Лакоза С.Л., Цибульник С.О., Півторак Д.О., Луців Т.В. (Україна); заявник та власник Лакоза С.Л., Цибульник С.О., Півторак Д.О., Луців Т.В. - № 66080; заявл. 25.03.2016; зареєстровано 27.05.2016 р. в Державному реєстрі свідоцтв про реєстрацію авторського права на твір.

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Результати відповідають світовому рівню. Вперше методичне забезпечення структурного моніторингу технічного стану металевих елементів конструкції складних просторових об'єктів забезпечує комплексне отримання, аналіз та візуалізацію діагностичної інформації за такими видами динамічних процесів та навантажень резервуару: динамічні навантаження на стінки резервуару в результаті вітрового збурення; вібрації конструкції резервуару в результаті дії динамічних навантажень та імпульсних збурень; зміна просторового положення резервуару під впливом вітрового збурення; зміна напружено-деформованого стану елементів конструкції резервуару в результаті дії динамічних навантажень.

6. Економічна привабливість.

Доцільним є впровадження результатів у практику контролю інженерних споруд спеціального призначення, об'єктів машинобудування, енергетики, нафто-газо-транспортної галузі, що матиме суттєву соціально-економічну значимість: **забезпечення збереження**

навколишнього середовища безпечна експлуатація відповідальних споруд та об'єктів; безпека життєдіяльності людей.

7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, відомства, підприємства, організації).

Користувачі науково-технічної продукції; ДУ Національний антарктичний науковий центр (м. Київ), ТОВ «Еталон-П» (м. Київ), ТОВ «КБ Контрольних приладів» (м. Київ), інженерні споруди спеціального призначення, об'єкти машинобудування, енергетики, нафтогазо-транспортної галузі.

8. Стан готовності розробки – макетний зразок, алгоритмічне та програмне забезпечення.

9. Існуючі результати впровадження.

Результати (схеми, методики, алгоритмічне та програмне забезпечення) використовуються при розробці автоматизованої системи запобігання витокам палива на українській антарктичній станції «Академік Вернадський» на замовлення ДУ Національний антарктичний науковий центр (м. Київ). Алгоритмічне та програмне забезпечення для обробки сигналів вібрації використовується в ТОВ «КБ контрольних приладів» (м. Київ) при розробці нових систем контролю та діагностики об'єктів авіаційної техніки.

10. Форма участі інвестора (яка краща форма участі в реалізації результатів проекту інвестора: частка в проекті%, частка від прибутку%, інше)

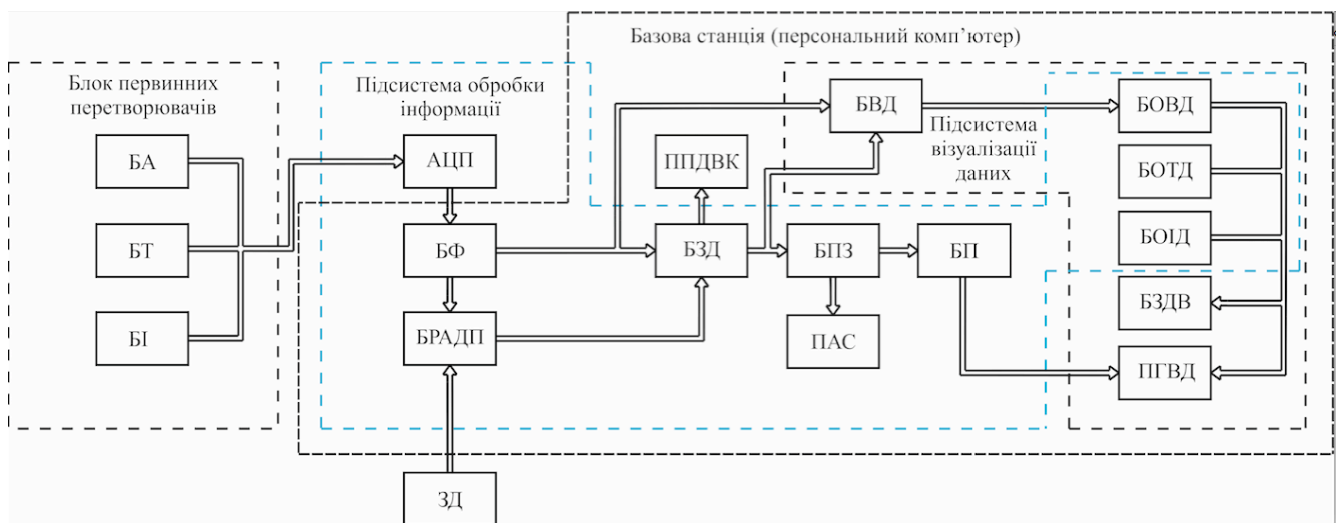
11. Обсяг інвестицій (необхідна для результатів проекту сума інвестицій в доларах США).

12. Мета інвестицій (розширення бізнесу, створення нового підприємства, інше).

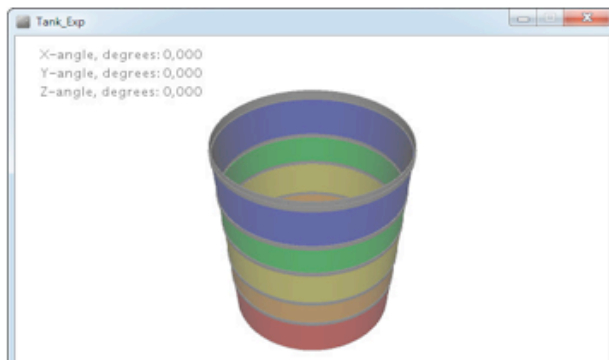
13. Назва підрозділу, телефон, e-mail.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», приладобудівний факультет, кафедра приладів і систем орієнтації і навігації. (044) 204-85-02, n.bureau@kpi.ua

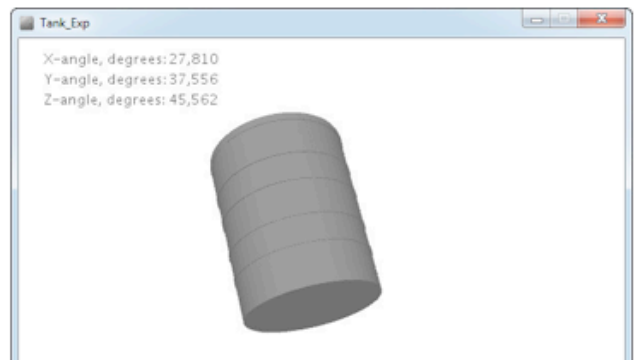
14. Фото розробки



Функціональна схема системи моніторингу: БА, БТ, БІ – блоки акселерометрів, тензорезисторів та інклінометрів відповідно; АЦП – аналогово-цифровий перетворювач; БФ – блок фільтрів; БРАДП – блок розрахунку та аналізу діагностичних параметрів; ЗД – зовнішні дані; БЗД – блок збереження даних; ППДВК – пристрій передачі даних віддаленому користувачу; БПЗ – блок порогових значень; ПАС – пристрій аварійної сигналізації; БП – блок прогнозу; БВД – блок вибору даних; БОВД, БОТД, БОІД – блоки обробки вібраційних, тензометричних та інклінометричних даних відповідно; БЗДВ – блок збереження даних візуалізації; ПГВД – блок графічного відображення даних.



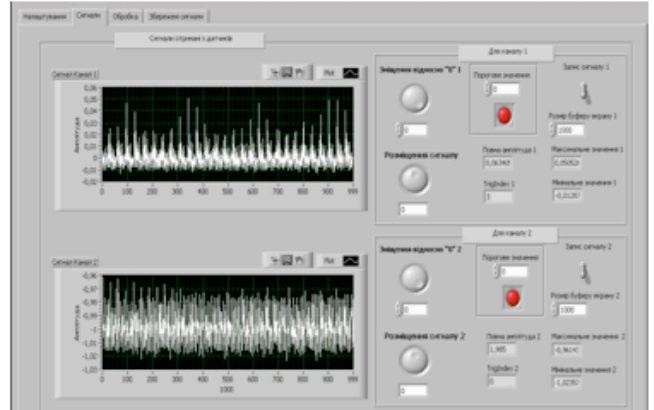
Результати візуалізації даних тензометричних вимірювань



Результати візуалізації даних визначення просторового положення



Макет каналу вимірювання вібрації



Лицьова панель віртуального приладу «Діагностичний сервер»

15. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання (вагомі монографії, підручники, посібники, наукові статті, дисертації, інші публікації).

1. Бурау Н.И. Вибрационная диагностика противооползневых защитных сооружений: монография / Н.И. Бурау, Э.В. Кулиш [Текст]. - К.: НТУУ «КПІ», 2016.- 142 с.
2. Аврутов В.В. Испытания инерциальных приборов: Учебное пособие. – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 190 с.
3. Bouraou N. Investigation of the model of the vibration measuring channel of the complex monitoring system of steel tanks / Bouraou N., Tsybulnik S., Shevchuk D.// EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies. –2015. – Vol. 5. – №9 (77). – P. 45-52.
4. Vibration condition monitoring of the vertical steel tanks/ Bouraou N., Lukianchenko O., Tsybulnik S., Shevchuk D. // Vibration in Physical Systems. – 2016. – Vol. 27. – pp.55-60.
5. Bouraou N. Improvement of the vibration diagnostics of rotation shaft damage based on fractal analysis/ N. Bouraou, O. Pavlovskiy, O. Pazdrii// Vibration in Physical Systems. – 2016. – Vol. 27. – pp.61-66.
6. Bouraou N.I. Investigation of Static and Dynamic Characteristics of Complex Thin-Walled Shell Structure with Cracks/ N.I. Bouraou, O.O. Lukianchenko, O.V. Kostina, O.V. Kuzko//Strength of Materials. – 2016. – Vol. 48. - Issue 3. – pp. 401–410.
7. Avrutov V. Scalar Method of Fault Diagnosis of Inertial Measurement Unit / V. Avrutov // Advances in Aerospace Engineering / Hindawi Publishing Corporation. – 2015. – Volume 2015. – 10 pages (Article ID 264564).
8. Avrutov V. Scalar Diagnostics of the Inertial Measurement Unit /V. Avrutov // I.J. Intelligent Systems and Applications. – 2015. – Vol.11. – pp.1-9.
9. Павловский А. М. Повышение точности инерциального измерительного модуля на темс-датчиках / А.В. Кузнецов, А.М.Павловский // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Приладобудування - 2015.- №5. – С. 13-19.

10. Метод калібрування і корекції вихідних сигналів тривісного акселерометра / В.В. Аврутов, С.В. Головач, О.М. Сапегін, М.Ю. Хутко // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2016. - №1. – с.92-98.
11. Бурау Н.И. Концепция визуализации данных в информационно-диагностических комплексах / Н.И. Бурау, С.А. Цибульник // Вісник інженерної академії України. – 2015. – №1. – С. 96-99.
12. Пивторак Д.А. Определение уровня деформаций по выходному сигналу брегговского волоконно-оптического датчика / Пивторак Д.А., Цибульник С.А., Луцив Т.В. // Вісник Інженерної академії України. – 2016. – № 1 – С.110-114.
13. Синтез нейронної мережі для багатоканальної діагностики елементів конструкції в експлуатації/ Бурау Н.І., Рупіч С.С., Мироненко П.С., Протасов А.Г. // Методи та прилади контролю якості. – 2015. - №2(35). – С.83-93.
14. Бурау Н.І. Імітаційне моделювання та обробка вібраційних сигналів для моніторингу конструкцій в експлуатації/ Н.І.Бурау, Д.В. Шевчук // Вісник Інженерної академії України. – 2015. - № 4. – С.14-19.
15. Шевчук Д.В. Імітаційна модель діагностичного серверу системи моніторингу конструкцій в експлуатації / Д.В. Шевчук // Збірник наукових праць КНТУ "Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація". - Вип. 29. - Кіровоград: КНТУ, 2016. – С. 293-297.
16. Цибульник С.О. Вдосконалення засобів функціональної діагностики та захисту резервуарів на основі імітаційного моделювання: Дис. канд. техн. наук. – Київ, 2016. – 186 с.

Ключові слова: складні просторові об'єкти, металеві елементи конструкцій, структурний моніторинг, геометричні моделі, імітаційні моделі, фізичні моделі, канал вібрації, канал тензометрії, канал інклінометрії, обробка сигналів, візуалізація результатів, прогнозування технічного стану.