

## Неруйнівний контроль на шостій міжнародній конференції “Механіка руйнування матеріалів та цілісність конструкцій”

З 3 по 6 червня 2019 р. у м. Львові відбулася 6-а міжнародна конференція “Механіка руйнування матеріалів та цілісність конструкцій” (“Fracture Mechanics of Materials and Structural Integrity” FMSI 2019). Її організатори – Європейське товариство з цілісності конструкцій (ESIS), Українське товариство з механіки руйнування, Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України (ФМІ), НУ «Львівська політехніка». Голова оргкомітету конференції – академік НАН України В.В. Панасюк, заступники голови – академік НАН України Л.М. Лобанов та професор Ю.Я. Бобало. У конференції взяли участь понад 60 учасників з 14 країн (Аргентина, Греція, Індія, Іспанія, Італія, Канада, Китай, Мексика, Польща, Португалія, США, Угорщина, Україна, Франція).

Основними напрямками роботи конференції були:

- механіка руйнування та міцність матеріалів;
- корозійне розтріскування;
- неруйнівний контроль (випробування) конструкцій;
- прикладна механіка.

Вперше за історію проведення цієї конференції проблеми неруйнівного контролю (НК) були виокремлені в окрему секцію, що пов’язано зі створенням в рамках ESIS технічного комітету ESIS-TC17 “Non-Destructive Evaluation” (голова Петер Трампус). Міжнародну спільноту НК на конференції крім Петера Трампуса представляв президент Міжнародної Академії НК Джузеппе Нардоні.

На пленарному засіданні було заслухано доповідь **“To the problem of the subsurface defects detection: theory and experiment”** (Z. Nazarchuk, L. Muravsky, D. Kuryliak, Karpenko Physico-Mechanical Institute of NASU), в якій представлено новий підхід до вирішення проблеми виявлення підповерхневих дефектів у багатошарових панелях з композитних матеріалів. Він полягає у поєднанні методів спекл-метрології (електронної спекл-інтерферометрії) та динамічних спеклів, які генеруються гармонічними ультразвуковими хвилями. Для реалізації запропонованого підходу створено макет оптико-цифрової системи, яка є значно простішою порівняно з інтерферометричними системами. Надійність запропонованого підходу підтверджена результатами експериментів з композитними панелями з внутрішніми тестовими дефектами.

На спеціальному секційному засіданні конференції (голови акад. З.Т. Назарчук та проф. Петер Трампус), присвяченому питанням НК, було заслухано 10 доповідей.

У доповіді **“Role and importance of NDE in nuclear power plant life extension”** (P. Trampus, University of Dunaujvaros, Hungary) висвітлено роль НК у забезпеченні довготривалої працездатності обладнання атомної енергетики на прикладах, взятих з досвіду експлуатації атомної електростанції Пакш (Угорщина). Методи НК охоплюють ультразвукові та вихрострумові випробування критичних областей та підсистем реакторної зони високого тиску, парогенератора та деяких паропроводів. Показано, що результати НК сприяють аналізу процесів старіння, який є абсолютно необхідним для отримання ліцензії на роботу за межами розрахункового строку служби обладнання.

Три доповіді були присвячені питанням розвитку акустико-емісійного контролю. У першій з них **“Method of acoustic emission in delayed fracture mechanics of structural materials”** (Z. Nazarchuk, O. Andreykiv, V. Skalskyi, D. Rudavskyy, Karpenko Physico-Mechanical Institute of NASU, Ivan Franko National University, Lviv) показано можливості методу акустичної емісії (АЕ) досліджувати кінетику уповільненого руйнування конструкційних матеріалів, визначати періоди зародження макротріщин та їх докритичного росту. Запропоновано підхід для побудови кінетичних діаграм високотемпературного повзучого росту тріщин, який полягає спочатку у побудові кінетичної діаграми повзучого росту тріщини за параметрами АЕ, а потім у переході від останньої до основної кінетичної діаграми за механічними параметрами з використанням теоретично встановленого перетворення. Друга доповідь **“AE technology in continuous monitoring of hightemperature pipelines at heating power plants”** (B. Paton, L. Lobanov, A. Nedoseka, S. Nedoseka, M. Yaremenko, J. Gereb, Yu. Gladyshev, V. Beshun, A. Bychkov, A. Gaidukevich, Paton Electric Welding Institute of NASU, VD2 (Hungary), SVP “Kievskii TPP” PJSC “Kievenergo”) була присвячена застосуванню методу АЕ для моніторингу стану трубопроводів теплових електростанцій з прогнозуванням руйнівного навантаження. Представлено результати розробки системи неперервного моніторингу трубопроводів пароперегрівача енергоблоку № 1 на Київській ТЕЦ-6. Створена методика дозволяє на основі даних АЕ визначати руйнівне навантаження конструкційного матеріалу. Представлено схему моніторингу та особливості практичного застосування системи. Методика дозволяє визначати координати ділянки обладнання з мінімальним значенням руйнівного навантаження. Наявність віддаленого доступу забезпечує авторський нагляд за роботою системи через Інтернет. У доповіді **“The methodology of evaluation and monitoring of the fatigue fracture at macrocrack initiation stage”** (R. Chepil, O. Stankevych, O. Ostash, B. Klym, Karpenko Physico-Mechanical Institute of NASU, Ukraine) на основі застосування

уніфікованої моделі втомного руйнування розглянуто питання визначення втомної довговічності елементів конструкцій із вирізами. Показано, що період зародження втомної макротріщини, який в основному визначає довговічність конструкційних елементів із високоміцних матеріалів за дії циклічного навантаження, можна прогнозувати за запропонованою базовою кривою втоми для зразків з концентраторами, отриманою на стадії зародження макротріщини. Показано можливість моніторингу цього процесу (накопичення мікропошкоджень, утворення системи мікротріщин і зародження макротріщини) за параметрами АЕ сигналів. Встановлено, що під час зародження макротріщини у зразках із вирізами з алюмінієвого сплаву Д16АТ енергетичний параметр сигналів АЕ збільшується від 0,01 до 0,18.

Актуальні питання моніторингу зносу елементів трансмісії літальних апаратів розглянуті у доповіді **“Monitoring of the wear of aircraft transmission toothed wheels by the FAM-C and FDM-A methods”** (А. Gębura, S. Kłysz, T. Tokarski, Air Force Institute of Technology, University of Warmia and Mazury, Technical Sciences Department, Poland). Ця проблема є особливо актуальною стосовно вертольотів, оскільки неконтрольоване зношування зубчастих коліс їх трансмісії у процесі експлуатації може призводити до аварій. Для запобігання цьому авторами запропоновані розроблені ними нові методи діагностики FAM-C та FDM-A.

У доповіді **“Analysis of rotary mechanism fault features on the base of the spectral structure for vibration stochastic recurrence”** (I. Javorskyj, R. Yuzefovych, P. Semenov, P. Kurapov, Karpenko Physico-Mechanical Institute of NASU, UTP University of Science and Technology, Poland, Lviv Polytechnic National University, Odessa National Maritime University) розглянуто питання вібродіагностики обертальних механізмів. Представлено результати розробки методу виявлення пошкоджень у таких пристроях на основі спектрального аналізу періодичних нестационарних випадкових сигналів.

У доповіді **“The String Model: a new interpretation of the metallic structures and its connected physical phenomena”** (G. Nardoni, W. Rummel, P. Trampus, Academia NDT International, Brescia, Italy) розглянуто новий підхід до пояснення структури металів залежно від фізичних явищ, які в них відбуваються, на основі струнної моделі. Представлено принципи даної теорії та показано як струнна модель може пояснювати поведінку структури металу залежно від дії напружень, магнітного поля, процесів гартування, зміцнення тощо.

Актуальній проблемі визначення залишкових напружень у зварних конструкціях була присвячена доповідь **“Determination of residual stresses by laser shearography method”** (L. Lobanov, V. Savitsky, Paton Electric Welding Institute of NASU). В ній показані переваги оптичних методів (голографії, оптичної інтерферометрії, спекл-інтерферометрії та цифрової кореляції зображень) для вирішення даної проблеми порівняно із стандартним методом, який передбачає свердлення отворів і використання засобів тензометрії. Серед оптичних методів на думку авторів найбільш перспективним є метод лазерної шерографії, який на відміну від голографічного та спекл-інтерферометричного методів не вимагає спеціальної віброізоляції. Проведені експерименти та результати моделювання показали, що поєднання лазерної шерографії з методом отворів дозволяє визначати залишкові напруження у виробничих умовах з високою точністю.

Значне місце у роботі секції було приділене розвитку електромагнітних методів НК. В доповіді **“Development of electromagnetic NDT methods for structural integrity assessment”** (V. Uchanin, O. Ostash, Karpenko Physico-Mechanical Institute of NASU) розглянуто питання оцінювання механічних характеристик матеріалів на основі вимірювання питомої електропровідності (ПЕП) алюмінієвих сплавів (АС) вихрострумовим методом та вимірювання коерцитивної сили (КС) феромагнітних сталей структуроскопами типу КРМ-Ц. Принциповою особливістю роботи є визначення кореляційних залежностей параметрів матеріалу, які можна визначити методами НК, з характеристиками циклічної тріщиностійкості матеріалу, які необхідні для визначення залишкового ресурсу конструкцій. Досліджено кореляційні зв'язки між ПЕП та механічними характеристиками деградованих АС авіаційних конструкцій за великих термінів експлуатації, а також між ПЕП та механічними характеристиками АС зварних з'єднань. Встановлено кореляційні залежності між змінами КС і змінами характеристик циклічної тріщиностійкості сталей 12Х1МФ та 15Х1М1Ф паропроводів теплових електростанцій в процесі їх тривалої експлуатації. Показано можливість оцінювання напруженого стану елементів корпусів суден на основі вимірювання КС. Представлено дослідження з магнітоанізотропного методу визначення напруженого стану і результати його практичного застосування.

У доповіді **“Detection of cracks in ferrous steel structures: new innovative eddy current techniques”** (V. Uchanin, G. Nardoni, Karpenko Physico-Mechanical Institute of NASU, I&T Nardoni Institute, Italy) висвітлені питання застосування вихрострумових перетворювачів (ВСП) подвійного диференціювання для виявлення тріщин у конструкціях із феромагнітних сталей. Подана докладна інформація про властивості та переваги вказаних ВСП. Представлено результати з виявлення тріщин у деталях в лопатках і отворах газових турбін. Ще одним із прикладів використання даного типу ВСП є контроль трубних поковок. При цьому окремі ВСП подвійного диференціювання використовують в якості елементів у багатоелементних

ВСП (типу EDDYLINE). Такі ВСП у комбінації із дефектоскопом ELOTEST B300 використовують для виявлення тріщин у трубних поковках, що дозволяє суттєво збільшити продуктивність НК.

Проблемі визначення компонентів перехідного опору, необхідного для контролю протикорозійного захисту і діагностики технічного стану підземних трубопроводів (ПТ), була присвячена доповідь **“Determination of components of transient resistance of underground pipeline”** (R. Dzhala, V. Dzhala, R. Savula, O. Senyuk, Bohdan Verbenets', Karpenko Physico-Mechanical Institute of NASU, Lvivtransgaz). Представлено нові можливості визначення розподілу перехідного опору «труба-земля» вздовж траси та його компонент (питомих опорів ізоляції, ґрунту, поляризації) на ділянках ПТ за безконтактними вимірами струмів та контактними вимірами потенціалів із урахуванням встановлених зв'язків між компонентами електричного поля біля ПТ. На основі цього можна оцінювати швидкість корозії ПТ і підземних металевих споруд.

За поданими матеріалами видано збірник тез доповідей. Повні тексти доповідей після рецензування будуть опубліковані у спеціальному випуску міжнародного журналу “Procedia Structural Integrity” (видавництво Elsevier).

*Автори: член комітету TC17 ESIS, д.т.н. В.М. Учанін, к.т.н. В.Г. Рибачук*



Академіки НАН України  
З.Т. Назарчук, Л.М. Лобанов та  
В.В. Панасюк під час пленарного  
засідання конференції



Академік НАН України  
З.Т. Назарчук веде засідання  
секції НК



Засідання секції неруйнівного  
контролю



Професор Петер Грампус  
(Угорщина)



Президент Міжнародної  
академії НК Джузеппе Нардоні  
(Італія)



д.т.н. В.М. Учанін (ФМІ НАН  
України, м. Львів)



д.т.н. Д.В. Рудавський (ФМІ НАН  
України, м. Львів)



к.т.н. В.В. Савицький (ІЕЗ ім.  
Є.О. Патона НАН України, м.  
Київ)



д.т.н. О.М. Станкевич (ФМІ НАН  
України, м. Львів)