

УДК 004: 621.317

МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДБИРАННЯ ДАНИХ ПРО НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

© Галина Микитин^{1,2}, 2010

¹Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України
79601, м. Львів, вул. Наукова, 5

²Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра захисту інформації, 79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 12

На основі принципів системного аналізу розроблено методологічний підхід для створення інформаційної технології відбирання та оброблення параметрів напружено-деформованого стану матеріалу.

На основе принципов системного анализа разработан методологический подход к созданию информационной технологии отбора и обработки параметров напряженно-деформированного состояния материала.

Methodological approach for making information technology selection and processing stress-strain state of material parameters was developed based on systems analysis principles.

1. Інформаційні технології для відбирання і обробки даних від об'єктів дослідження. Проблематика сучасного матеріалознавства тісно пов'язана із розробленням відповідних інформаційних технологій (ІТ) для відбирання, аналізу різнорідних даних про стан об'єкта дослідження (ОД) і, на цій основі, прогнозування його залишкового ресурсу. Інформаційна технологія – це задана і керована процедура подання інформаційних процесів (ІП) з використанням певних інформаційних ресурсів (ІР), які реалізуються інформаційною системою (ІС) (електронно-обчислювальною машиною (ЕОМ)) та вимірjувальною інформаційною системою (ВІС) з метою отримання нових відомостей, характеристик, параметрів, фізичних величин, знань про фізичні процеси в об'єкті дослідження, закономірності їх зміни під впливом зовнішніх факторів та переходу з одного фізичного стану в інший (рис. 1) [1].

Технічним ядром інформаційної технології є інформаційна система (електронно-обчислювальна машина) як засіб реалізації інформаційних процесів на рівні даних, знань. Інформаційні ресурси – це інформація, яка визначає кількісний та якісний рівень параметрів досліджуваних об'єктів відповідної предметної сфери, зокрема матеріалознавства. Інформаційні процеси відображають отримання (збирання) даних, аналіз (первинне оброблення), зберігання, пошук та передавання інформації. Вимірjувальна

інформаційна система – це засіб вимірjування, що є сукупністю взаємопов'язаних засобів як вимірjувальних операцій, приладів та інших технічних засобів, призначених для створення вимірjувальної інформації. Функціонально ВІС здійснює відбирання інформативних параметрів від об'єкта дослідження та оброблення на рівні перетворення фізичного сигналу. Аналіз і синтез інформаційних, фізичних процесів збирання і відбирання даних, сигналів є основою для створення системного методологічного підходу для розроблення інформаційної технології дослідження стану конструкційного матеріалу.

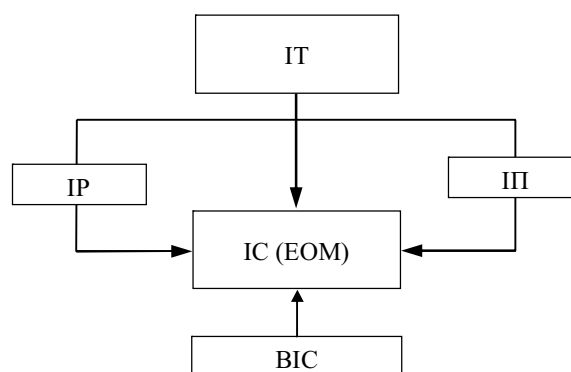


Рис. 1. Логічна структура взаємозв'язку інформаційної технології з ресурсами, процесами, вимірjувальною інформаційною системою

Основою методологiчного пiдходу є застосування системних та iнформацiйних принципiв. Системний пiдхiд ґрунтується на основних принципах системного аналізу: iєрархiчностi, багатоаспектностi, цiлiсностi [2]. Iєрархiчностi дає змогу точно видiлити iстотнi властивостi та взаємозв'язки складного досліджуваного об'єкта, що забезпечує докладний опис характеристик (параметрiв) за рахунок використання апрiорних знань про його внутрiшню структуру (побудову). Багатоаспектностi вимагає: багатовекторного розгляду об'єкта з урахуванням взаємозв'язкiв виявлених фiзичних аспектiв та елементiв роздiлення об'єкта на пiдсистеми, що спрощує опис з точнiстю до побудови його концептуальної моделi. Цiлiсностi передбачає iнтерпретацiю частин цiлого i представлена появою нових властивостей (ознак, характеристик, параметрiв, фiзичних величин) цiлого, якi вiдсутнi у його частинах. Iнформацiйний пiдхiд ґрунтується на принципах науки iнформацiологiї: iнформацiя – первинна, енергiя – вторинна, матерiя – третинна [3]. Згiдно з концепцiєю iнформацiйно-вакуумної картини свiтобудови, запропонованої основоположником iнформацiологiї академиком I.Й. Юзвiшиним (1996), iнформацiйним вакуумом заповнений увесь простiр Всесвiту i з нього породжена уся матерiя. Iнформацiя є першоосновою усiх випромiнювань – гравiтацiйних, електромагнiтних, сильних i слабких ядерних, усiх явищ природи i Всесвiту. Немає iнформацiї – немає вакууму, немає руху, енергiї, матерiї, немає випромiнювання. Iнформацiя I через простiр i час породжує рух P (швидкiсть), що створює енергiю E , яка вже визначає масу (матерiю) M . Щодо iнформацiйних аспектiв у матерiалознавствi. Матерiалам притаманна iнформацiйна пам'ять, яка на фiзичному рiвнi вiдображає енергетичнi параметри, що, своєю чергою, впливають на стан матерiї. Вплив зовнiшнiх факторiв на метал вiдображається на станi iнформацiйної пам'ятi. Це зумовлює змiну власного фiзичного поля металу, його енергетичних параметрiв, вiдповiдно i геометричних. Потрiбно зауважити, що у практицi матерiалознавства застосування фiзичного методу магнiтної пам'ятi металу побудоване на iнформацiйних принципах [4].

Методологiчний пiдхiд для створення iнформацiйної технологiї вiдбирання та оброблення даних про напружено-деформований стан конструкцiйних матерiалiв побудований на системних та iнформацiйних принципах. Структура такого пiдходу проектується на: створення iнформацiйної технологiї, алгоритмiчна

процедура якої вiдображає методи збирання, первинного оброблення, зберiгання, пошуку, передавання iнформацiї з метою створення повноiнформацiйної бази знань; розроблення вимiрjувальної iнформацiйної системи для вiдбирання iнформацiйних параметрiв фiзичного сигналу та обробки (перетворення); створення метрологiчного забезпечення вимiрювання (контролю) для оцiнювання точностi вимiрювання фiзичних величин, пов'язаних з параметрами НДС матерiалiв; прогнозування стану металоконострукцiї на основi визначення її залишкового ресурсу; ефективне управління процесами виробництва та експлуатацiї як обернена коригувальна функцiя.

2. Методологiчний пiдхiд до визначення параметрiв НДС конструкцiйних матерiалiв.

Розроблення методiв оцiнювання роботоздатностi конструкцiйних матерiалiв та елементiв енергетичного обладнання за умов складного навантаження у воднi є одним з провiдних напрямiв неруйнiвного контролю (НК) та механiки руйнування [5]. Метою теоретико-експериментальних наукових досліджень фiзико-механiчних властивостей металоконострукцiї, їх змiни в процесi експлуатацiї є визначення iнформацiйних параметрiв матерiалiв об'єктiв i , на цiй основi, залишкового ресурсу за вiдповiдною методикою. Для виконання такого комплексного дослідження пропонується методологiчний пiдхiд до визначення параметрiв напружено-деформованого стану (НДС) з урахуванням впливу водню, складного навантаження, температури, факторiв експлуатацiї, зокрема в лабораторних умовах динамiчних випробувань. Проблема моделювання ситуацiї в енергетицi охоплює розрахунок надiйностi складних технiчних об'єктiв, прогнозування їх ресурсу, виконання експериментальних досліджень напружено-деформованого стану матерiалiв, який створюється температурними полями, агресивними середовищами, механiчними навантаженнями тощо. Цi процедури передбачають такi основнi завдання: визначення залишкових напружень; визначення характеру внутрiшнiх напружень; визначення фактичних механiчних характеристик та параметрiв напружено-деформованого стану матерiалу. Для визначення механiчного напруження застосовують рiзнi методи. Серед використовуваних – тензометричний, рентгенiвський, акустичний, магнiтошумовий, методи голографiчної iнтерферометрiї, електронної спекл-iнтерферометрiї, якi належать до п'яти стандартизованих видiв НК –

електричного, магнітного, електромагнітного, теплового, механічного [6, 7]. Проблема визначення механічних характеристик матеріалів та елементів конструкцій і, на цій основі, оцінювання залишкового ресурсу об'єктів енергетичного обладнання пов'язана з процедурою контролю НДС матеріалу, відповідно до процедури вимірювання параметрів (фізичних величин), пов'язаних з деформацією, механічним напруженням, динамічним коефіцієнтом інтенсивності напруження (ДКІН). В основі процедури вимірювання параметрів напружено-деформованого стану матеріалів: методологія, методика виконання вимірювання (МВВ), метрологічне забезпечення (МЗ). Метрологічне забезпечення – це встановлення та застосування метрологічних норм і правил, а також розроблення, виготовлення та застосування технічних засобів, необхідних для досягнення єдності і необхідної точності вимірювань [8]. Метрологічне забезпечення вимірювання параметрів НДС матеріалів та елементів конструкцій взаємопов'язане з відповідними методами технічного діагностування об'єктів енергетичного обладнання. Технічне діагностування стану елементів енергетичного обладнання у водні за складного навантаження поєднує елементи механіки руйнування, металознавства і неруйнівного контролю. Актуальними є методи контролю НДС матеріалів, які є підґрунтям процедури оцінювання залишкового ресурсу їх міцності та тріщиностійкості.

Вихідним завданням щодо визначення залишкового ресурсу конструкційних матеріалів та елементів енергетичного обладнання є вимірювання геометричних, механічних параметрів (фізичних величин) матеріалу та параметрів його НДС, утвореного в результаті тривалої експлуатації об'єкта (випробування). Встановлена стандартизована класифікація видів і методів НК, основою якої є фізичний процес взаємодії фізичного поля (або речовини) з контрольованим об'єктом. Фізичні явища, які використовуються для відбирання первинної інформації про контрольований об'єкт, власне, визначають класифіковані види неруйнівного контролю матеріалів: магнітний, електричний, вихрострумний, радіохвильовий, тепловий, оптичний, радіаційний, акустичний, капілярний (речовинами, що проникають).

Необхідною умовою для розроблення МЗ вимірювань фізичних величин, пов'язаних з параметрами НДС матеріалу, є залучення до його структури наукової, законодавчої, нормативної, технічної основ. З такої позиції розроблений концептуальний підхід до метрологічного забезпечення вимірювань, який охоплює особливості процедур контролю, діагностування, прогнозування, розпізнавання об'єкта з метою забезпечення єдності та точності вимірювання [9]. Вимірювання – це знаходження значення фізичної величини дослідно за допомогою призначених для цього технічних засобів. На відміну від вимірювання,

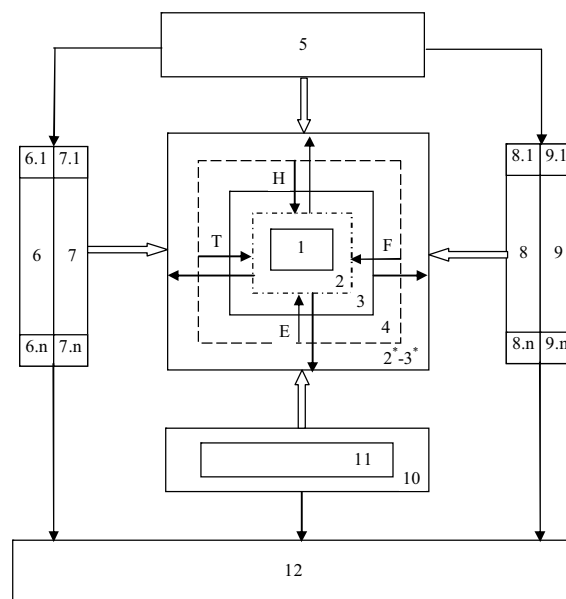


Рис. 2. Методологічний підхід до визначення параметрів НДС конструкційних матеріалів

контроль – це відображення якісного аспекту властивості об'єкта, за якого встановлюється відповідність між станом об'єкта і заданою нормою. Вимірювання механічних фізичних величин (параметрів) відповідного виду зразка металу як можливого об'єкта енергетичного обладнання дає змогу визначити їх числові значення і встановити на основі метрологічних характеристик (МХ) нормовані, які властиві матеріалу до початку експлуатації об'єкта. Визначення параметрів НДС матеріалу як кількісна процедура неруйнівного контролю дає змогу встановити якісний рівень об'єкта експлуатації (випробування) і надалі прогнозувати його ресурс. Метрологічне забезпечення вимірювання фізичних величин, пов'язаних з інформативними параметрами НДС матеріалів, має певні методологічні та експериментальні особливості, зумовлені предметною сферою механіки руйнування та неруйнівного контролю.

Пропонується структура методологічного підходу до визначення параметрів (фізичних величин) НДС матеріалів, елементів конструкцій енергетичного обладнання (рис. 2). Підхід створений для інформаційної технології відбирання даних про напружено-деформований стан матеріалів і об'єднує два рівні: інформаційний – базу знань предметної сфери, фізичний – методологію відбирання (способи, методи, засоби) та метрологічне забезпечення. Методологія відбирання орієнтована на питання: що, як і чим вимірюємо? Оскільки йдеться про напружено-деформований стан матеріалу, що призводить до процесів руйнування об'єктів, то адекватний методологічний підхід, закладений у створювану інформаційну технологію, в остаточному результаті спрямований до визначення параметрів руйнування та аспектів прогнозування експлуатації енергетичного обладнання.

На фізичному рівні відбирання сигналів підхід спрямований на вирішення завдань проблеми вимірювання фізичних величин, пов'язаних з параметрами руйнування конструкційних матеріалів складних технічних об'єктів. Розглянемо алгоритмічні взаємозв'язки елементів пропонованого підходу. Об'єктом дослідження (1) є метали, з яких виготовлений широкий спектр енергетичного обладнання. Довготривала експлуатація об'єктів та системний вплив на них зовнішніх факторів призводять до руйнування металу, відповідно до зміни його первинного фізико-механічного стану. Певний вид металу, наприклад, сталь, має власне фізичне поле (2) та геометричні, фізичні,

механічні характеристики (3), пов'язані з відповідними фізичними величинами, що відображають властивості металу до початку експлуатації об'єкта (або динамічного випробування). Вимірювані фізичні величини набувають числових значень у певному діапазоні для кожного виду металу. За умов впливу факторів експлуатації (або динамічного випробування) (4): температури середовища T , водню H , складного динамічного навантаження (стиску, розтягу, удару, згину, кручення зразка) F , елементів експерименту E – змінюється фізичне поле об'єкта, відповідно змінюються його геометричні, фізико-механічні властивості, що адекватно відображається у вимірюваних фізичних величинах (2^* - 3^*), аналітично пов'язаних з параметрами напружено-деформованого стану металу.

З метою відбирання даних про НДС об'єкта, в результаті довготривалої експлуатації (динамічного випробування), необхідно використовувати способи визначення параметрів НДС – деформації, пов'язаної з механічними напруженням, і, на цій основі, розрахунку ДКІН – характеристики динамічної тріщиностійкості металів. Зазначимо, що фізичне поле ОД (2) змінюється не тільки за умов експлуатації (випробування), але й при способі відбирання інформації (5) – прямому, непрямому, який взаємопов'язаний з активним або пасивним методом НК. Така зміна власного фізичного поля ОД (металу) зумовлена тим, що йому притамана інформаційна пам'ять, яка відображає енергетичні параметри металу, відповідно і геометричні. Для визначення параметрів НДС матеріалу застосовують фізичні методи неруйнівного контролю (6) та відповідні методи вимірювання фізичних величин (7), пов'язаних з параметрами деформації, міцності, тріщиностійкості. Методу НК та методу вимірювання відповідають засоби НК (8) та засоби вимірювання параметрів НДС матеріалів (вимірювальні перетворювачі, вимірювальні прилади, вимірювальні інформаційні системи) (9), адекватні до використовуваних способів і принципів вимірювання фізичних величин. Підґрунтям визначення параметрів НДС матеріалів є методологія вимірювання фізичних величин (10), методика виконання вимірювання (11) та метрологічне забезпечення (12), які є основою вимірювальної інформаційної системи.

Створення інформаційної технології відбирання даних про НДС матеріалу передбачає формування двох баз знань: фізичного тлумачення властивостей (ознак, характеристик, параметрів, фізичних величин) мате-

ріалів (предметна сфера – матеріалознавство); способів відбирання інформації, методів контролю та вимірювання, засобів контролю і вимірювання (предметна сфера – контроль та вимірювання). Методологічний підхід до визначення параметрів НДС конструкційних матеріалів ґрунтується на використанні державних, міждержавних, міжнародних стандартів у галузі механіки руйнування, неруйнівного контролю, вимірювання, метрології, що дає змогу отримати точні результати визначення (вимірювання) параметрів НДС матеріалу і, на цій основі визначати характеристики міцності і тріщиностійкості матеріалів. Далі процедура порівняльного аналізу визначених параметрів НДС матеріалу з його характеристиками до експлуатації (випробування) дає змогу прогнозувати залишковий ресурс складних технічних об'єктів.

3. Метрологічне забезпечення вимірювання параметрів НДС матеріалів. На практиці застосовують такі методи діагностування стану матеріалів за видом фізичних полів: електричні, магнітні, електромагнітні, теплові, механічні. Решта використовуваних

методів (з процедурою вимірювання) – оптичні, акустичні, тензометричні, голографічні тощо належать до одного з п'яти видів НК. Так, наприклад, тензометричний метод вимірювання фізичних величин, пов'язаних з параметрами НДС матеріалів, належить до електричного виду НК.

Структура метрологічного забезпечення вимірювання параметрів НДС матеріалів є уніфікованою у тому розумінні, що узгоджується з усіма видами (методами) НК, відповідно і методами вимірювання. Щодо аспектів інтерпретації структури МЗ, то розглянемо це на прикладі застосування методу тензометрії для відбирання сигналу деформації від досліджуваного матеріалу за відповідних багатофакторних впливів. Цільове завдання інформаційної технології – відбирання даних про НДС матеріалу на рівні метрологічного забезпечення реалізується елементами: базою знань, засобами випробування та засобами вимірювальної техніки (ЗВТ), методикою виконання вимірювання фізичних величин, пов'язаних з параметрами НДС та ДКІН; проектом програми метрологічної атестації ЗВТ (ППМА) (рис.3).

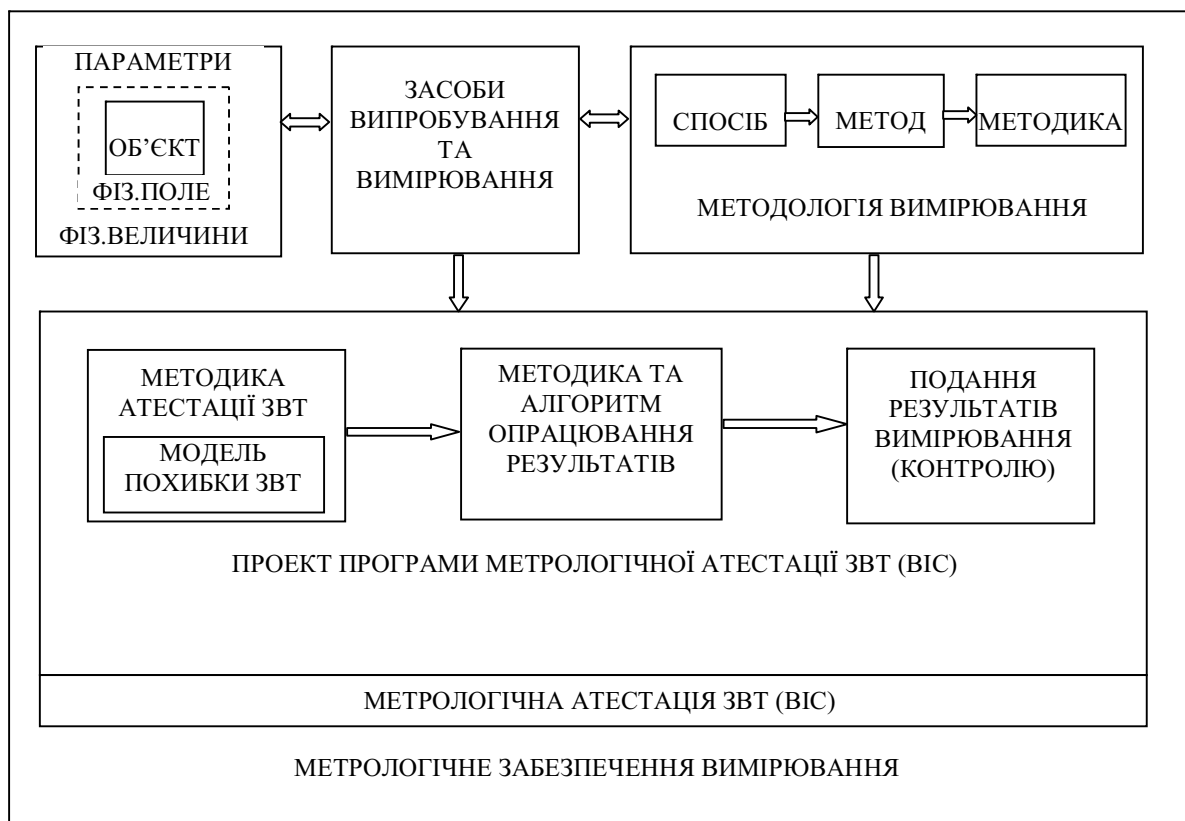


Рис. 3. Структура метрологічного забезпечення визначення параметрів НДС конструкційних матеріалів

Метрологічний рівень реалізації ІТ враховує аспекти методології вимірювання та процедури метрологічної атестації вимірювальних каналів (ВК) ВІС на взаємопов'язаних науково-технічній і законодавчій основах:

- об'єкт дослідження (матеріал – метал, елементи конструкцій енергетичного обладнання);
- засоби механічних випробувань матеріалу (наприклад, на розтяг) та засоби вимірювання;
- засоби вимірювальної техніки – ВІС для відбирання інформації про НДС об'єкта, створюваний умовами механічних випробувань – у лабораторних умовах, на практиці – довготривалою експлуатацією;
- методологія вимірювань параметрів НДС адекватно до засобів випробувань та ЗВТ (ВІС);
- проект програми метрологічної атестації ВК ВІС.

Процедура визначення параметрів НДС металу тензометричним методом за допомогою вимірювання фізичних величин, пов'язаних з деформацією ϵ , напруженням σ , які, своєю чергою, пов'язані з величиною довжини тріщини l та ДКІН за умов динамічного навантажування зразка на розтяг має відповідну методологію. Спосіб, метод, методика виконання вимірювань є підґрунтям методології вимірювання як сукупності прийомів дослідження відповідно до особливостей об'єкта і становлять її структуру. Логічний рівень методології – вибір моделі вимірювання для виконання експерименту. Фізичний – експериментальне визначення метрологічних характеристик і оцінювання похибки вимірювання (методичної, експериментальної).

Залежно від способу отримання числового значення вимірюваної величини всі способи вимірювання поділяють на прямі та непрямі. Прямими називають такі вимірювання, результат яких одержимо безпосередньо за відліковим пристроєм вимірювального засобу без будь-якого перетворення однієї фізичної величини на іншу. Непрямими називають такі, за яких фізичну величину безпосередньо не вимірюють, а перетворюють на іншу фізичну величину – її аналог, яку можна виміряти прямим способом. Відповідно до означеного, параметри НДС металу за силовою схемою розтягу зразка визначають непрямим способом вимірювання, оскільки для реєстрації первинної інформації (фізичного сигналу) тензометричним методом – механічний сигнал перетворюється на електричний.

Метод вимірювання – сукупність способів використання ЗВТ та принципу вимірювань для створення вимірювальної інформації. Принцип вимірювань – це рівноінтервальність відображення розміру фізичної величини числом. Рівноінтервальність відображення забезпечується у кожному значенні фізичної величини сталістю її одиниці. Непряме вимірювання – це вимірювання, за якого вміст шуканої вимірювальної інформації знаходять з сукупності властивостей об'єкта.

Метод визначення (вимірювання) параметрів НДС металу пов'язаний з методом неруйнівного контролю. Зазначимо, що механічні методи дослідження властивостей металів є прямими, а електричні, магнітні, електромагнітні теплові належать до непрямих. Оскільки тензометричний метод вимірювання фізичних величин належить до електричного виду НК, вимірювання параметрів НДС матеріалу є непрямим. Методика виконання вимірювання – це сукупність процедур і правил, виконання яких забезпечує отримання результатів вимірювання з потрібною точністю. Для динамічного випробування зразків металу і визначення ДКІН тензометричним методом необхідно розробити функціональну схему взаємозв'язаних експериментальної установки та ЗВТ, яка поєднує пристрій для випробування металевих зразків та вимірювальну інформаційну систему з вимірювальними каналами. Вимірювальний канал – сукупність засобів вимірювальної техніки, засобів зв'язку, призначений для створення сигналу вимірювальної інформації про одну вимірювану величину. У випадку розроблення ВІС структура вимірювальних каналів може бути ідентичною. Кожний з ВК має функціональні складові: тензодавач, широкосмуговий підсилювач сигналу з тензодавача, аналого-цифровий перетворювач, персональний комп'ютер.

Невід'ємною частиною науково-законодавчого підходу до метрологічного забезпечення є аспекти метрологічної атестації вимірювальних каналів ВІС, підґрунтям якої є проект програми метрологічної атестації (ППМА). Основними складовими ППМА вимірювальних каналів ВІС є: модель сигналу, модель похибки вимірювального каналу ВІС; методика атестації ВК ВІС; методика й алгоритм опрацювання результатів вимірювання; подання результатів вимірювання у межах моделі невизначеності.

4. Висновки. 1. З позиції системних та інформаційних принципів розроблено методологічні засади для створення інформаційної технології відбирання і обробки параметрів НДС досліджуваного об'єкта, що дає змогу вирішувати відповідні завдання у сфері матеріалознавства, МР, НК, вимірювання як між-дисциплінарні.

2. Методологічний підхід до визначення інформативних параметрів НДС конструкційного матеріалу дворівневий – інформаційний та фізичний.

3. Для ІТ відбирання та оброблення параметрів НДС матеріалу запропонована структура метрологічного забезпечення вимірювання фізичних величин.

1. <http://www.itstan.ru/content/view/63/116/> 2. Згуровський М. З., Панкратова Н. Д. *Основи системного аналізу*. – К.: КНУ. – 2007. – 498 с. 3. Юзвішин І.І.

Основы информациологии. – М.: Информациология, Высшая школа. – 2002. – 400 с. 4. Власов В.Т., Дубов А.А. *Физическая теория процесса “деформация разрушения”*. Часть 1. *Физические критерии предельных состояний металла*. – М.: ЗАО Тиссо: – 2007. – 517 с. 5. Панасюк В. В. *Механіка руйнування і міцність матеріалів. Довідниковий посібник / За заг. ред. В.В. Панасюка*. – Т.5 : *Неруйнівний контроль і технічна діагностика / Під. ред. З. Т. Назарчука*. – Львів : ФМІ, 2001. – 1134 с. 6. Касаткин Б. С. *Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений / Б. С. Касаткин, А. Б. Кудрын, Л. М. Лобанок*. – К. Наук. думка, 1981. – 276 с. 7. ГОСТ 18353-79. *Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов*. 8. ДСТУ 2682-94. *Метрологічне забезпечення. Основні положення*. 9. Микитин Г. В. *Основи метрології: Навч. й посіб.* – Львів : СПОЛОМ, 2008. – 296 с.

УДК 621.314

КОМП'ЮТЕРНА СИМУЛЯЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МОТОРОМ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З ПАРАЛЕЛЬНИМ ЗБУДЖЕННЯМ

© Володимир Самотий^{1,2}, Уляна Дзелендзяк¹, 2010

¹Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра комп'ютеризованих систем автоматички, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна

²Politechnika Krakowska, katedra automatyki, Polska

Наведено математичну модель системи: однофазний мостовий випрямляч – мотор постійного струму з паралельним збудженням, а також запропоновано метод аналізу перехідних та установлених режимів її роботи.

Приведена математическая модель системы: однофазный мостовой выпрямитель – мотор постоянного тока с параллельным возбуждением, а также предложен метод анализа переходных и установившихся режимов его работы.

Mathematical model of the system: the single-phase bridge rectifier – motor of direct-current with parallel excitation is resulted and method for transient and steady-state analysis of it operational modes is suggested.

Вступ. Керування швидкістю обертання якорів моторів постійного струму з різними варіантами ввімкнення обмоток, зокрема, з паралельним збудженням, – задача актуальна і має багато практичних застосувань. Один з найпоширеніших методів керування швидкістю обертання якорів моторів постійного струму полягає у зміні напруги живлення якорного кола й обмотки збудження одночасно. Цей факт спонукає до пошуку засобів зміни постійної напруги. Переважно доступною є мережа змінної напруги з діючим значенням 220 В і частотою 50 Гц. Використавши перетворювачі змінної

напруги на постійну, цю задачу можна розв'язати. Найпоширенішим перетворювачем такого типу є однофазний мостовий випрямляч. Щоб забезпечити зміну вихідної напруги випрямляча, необхідно використати у мостовій схемі керовані напівпровідникові вентиля (тиристори). Тоді, змінюючи кут запалювання тиристора, можна впливати на рівень вихідної напруги, а відповідно і на швидкість обертання якоря мотора постійного струму з паралельним збудженням. Тому, в схемі необхідно передбачити пристрій керування тиристорами. Оскільки він не