

Г.В. Микитин, к.т.н., с.н.с., доц., Фізико-механічний інститут  
ім. Г.В. Карпенка НАН України, НУ “Львівська політехніка”, Л.С. Сікора,  
д.т.н., проф., НУ “Львівська політехніка”

## **ПАРАДИГМА ВИЗНАЧЕННЯ РОБОТОЗДАТНОСТІ МАТЕРІАЛІВ В ЕНЕРГЕТИЦІ: АНАЛІТИЧНА СТРУКТУРА, МЕТОДОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО ВІДБОРУ ДАНИХ, ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ**

*Анотація.* Розроблена аналітична структура визначення робото- здатності елементів енергетичного обладнання. Створена парадигма визначення параметрів напружено-деформованого стану матеріалів. Запропоновано єдиний методологічний підхід до відбору інформації від об'єкта дослідження, процедуру та методологію вимірювання. Розроблено системну модель метрологічного забезпечення вимірювання на основі тензометричного методу.

*Annotation.* Analytic structure of power equipment elements efficiency definition was developed. Material deflected mode parameters definition paradigm was created. Unified methodological approach to selection information from test subject, measuring procedure and methodology were suggested. System model of measuring measurement assurance on the tensometric method was developed.

*Ключові слова:* матеріали, визначення роботоzдатності, аналітична структура, парадигма, методологічний підхід, процедура і методологія вимірювання, метрологічне забезпечення.

### **1. Актуальність проблеми визначення роботоzдатності матеріалів, елементів енергетичного обладнання**

Проблемі ресурсу об'єктів експлуатації приділено багато фундаментальних та прикладних досліджень учених [1-9]. Сьогодні ресурс об'єктів ядерної, теплової, альтернативної – водневої та гідроенергетики визначає рівень промислової інфраструктури України. З метою забезпечення міцності, довговічності енергетичного обладнання перспективними є:

– теоретико-експериментальні методи визначення властивостей матеріалів (механічних  $M_n$ , фізико-механічних  $\Phi_n$ , технологічних  $T_n$  т. і.) елементів конструкцій із застосуванням методів і засобів новітніх інформаційних технологій неруйнівного контролю у механіці руйнування;

– експериментальні підходи до визначення впливу: температури  $T$ , тиску водню  $P_H$  (інших агресивних середовищ), механічного навантаження  $P$ , концентрації водню  $C_H$  на експлуатаційні параметри об'єкта;

– встановлення (підтвердження) аналітичних залежностей інформативних параметрів сигналів від об'єкта дослідження з параметрами руйнування на основі: підходів і критеріїв механіки руйнування;

обґрунтованого вибору технологій неруйнівного контролю стану об'єкта;

– застосування стандартизованих методик (або розроблення і стандартизація нових) та методів прогнозування залишкового ресурсу потенційно-небезпечних об'єктів експлуатації;

– створення методичних рекомендацій щодо застосування (терміну експлуатації) у робочих середовищах металів, сталей, сплавів т. і. за підвищених параметрів: температури, тиску водню, механічного навантаження;

– впровадження технологічних процесів виготовлення, сталей, сплавів, конструкційних матеріалів, елементів енергетичного обладнання з високоякісними параметрами їх безпечної експлуатації.

Вплив водню, температури на напружено-деформований стан (НДС) об'єкта (матеріалу) за дії механічного навантаження призводить до: зниження його фізико-механічних властивостей, водневої деградації, водневої корозії, передчасного руйнування металоконструкцій, старіння обладнання сучасної енергетики в процесі підвищення терміну його експлуатації. Проблема роботоздатності матеріалів, елементів енергетичного обладнання є системною, оскільки потребує аналізу на рівнях: елементів обладнання ядерної, теплової, альтернативної, гідроенергетики; матеріалознавства; робочих умов експлуатації, дефектів; інформаційних технологій як методів і засобів дослідження характеру НДС матеріалів, елементів енергетичного обладнання; прогнозування залишкового ресурсу конструкційних матеріалів, елементів енергетичного обладнання; створення відповідної методики оцінювання роботоздатності матеріалів.

Запропонована аналітична структура визначення роботоздатності матеріалів, елементів енергетичного обладнання охоплює такі етапи (рис. 1):

а) аналіз системи: умови експлуатації – дефект матеріалу  $D$  – тривалість експлуатації  $t$  ;

б) розроблення (застосування) інформаційних технологій відбору даних від об'єкта (методів  $M_n$  , засобів  $Z_n$ ); виявлення місцезнаходження дефекту в матеріалі, енергетичному обладнанні з наступною ідентифікацією за трьома класифікаційними групами  $(1,2,3)$  [6];

в) дослідження механічних характеристик (властивостей) матеріалів відповідними методами, засобами реєстрації вимірювальної інформації від об'єкта шляхом визначення параметрів НДС матеріалу за підвищених експлуатаційних факторів наприклад, температури, тиску в середовищі водню, статичного (динамічного) механічного навантаження, а також визначення концентрації водню в металах;

г) розроблення методик прогнозування залишкового ресурсу елементів енергетичного обладнання  $M_i$  на основі: концепції прогнозування ресурсу обладнання для певного класу енергетики  $K_1$  ; відповідної методології  $M_j$  ; методу оцінювання залишкового ресурсу елементів обладнання  $M_k$  .

I. Класи енергетики															
1. Ядерна енергетика			2. Теплова енергетика			3. Гідроенергетика			4. Альтернативна енергетика						
1.1	1.2	...	1.n	2.1	2.2	...	2.n	3.1	3.2	...	3.n	4.1	4.2	...	4.n
II. Елементи енергетичного обладнання															
III. Матеріали															
1.1	1.2	...	1.n	2.1	2.2	...	2.n	3.1	3.2	...	3.n	4.1	4.2	...	4.n
IV. Властивості: механічні, фізико-механічні, фізико-хімічні, корозійні, технологічні т. і.															
M.1	M.2	...	M.n	M.1	M.2	...	M.n	M.1	M.2	...	M.n	M.1	M.2	...	M.n
Ф.1	Ф.2	...	Ф.n	Ф.1	Ф.2	...	Ф.n	Ф.1	Ф.2	...	Ф.n	Ф.1	Ф.2	...	Ф.n
Т.1	Т.2	...	Т.n	Т.1	Т.2	...	Т.n	Т.1	Т.2	...	Т.n	Т.1	Т.2	...	Т.n
V. Проблема робоздатності: умови експлуатації, дефекти, тривалість експлуатації															
Т	Р <sub>Н</sub>	Р	С <sub>Н</sub>	Т	Р <sub>Н</sub>	Р	С <sub>Н</sub>	Т	Р <sub>Н</sub>	Р	С <sub>Н</sub>	Т	Р <sub>Н</sub>	Р	С <sub>Н</sub>
Д	1	2	3	Д	1	2	3	Д	1	2	3	Д	1	2	3
t				t				t				t			
VI. Інформаційні технології дослідження властивостей матеріалів: методи, засоби неруйнівного контролю															
M.1	M.2	...	M.n	M.1	M.2	...	M.n	M.1	M.2	...	M.n	M.1	M.2	...	M.n
3.1	3.2	...	3.n	3.1	3.2	...	3.n	3.1	3.2	...	3.n	3.1	3.2	...	3.n
VII. Прогнозування залишкового ресурсу елементів енергетичного обладнання															
K <sub>1</sub>	M <sub>i</sub>	M <sub>j</sub>	M <sub>k</sub>	K <sub>2</sub>	M <sub>i</sub>	M <sub>j</sub>	M <sub>k</sub>	K <sub>3</sub>	M <sub>i</sub>	M <sub>j</sub>	M <sub>k</sub>	K <sub>4</sub>	M <sub>i</sub>	M <sub>j</sub>	M <sub>k</sub>

Рис. 1. Аналітична структура визначення робоздатності елементів енергетичного обладнання

## ***2. Проблемно-об'єктна ситуація визначення роботоздатності матеріалів***

Проблемно-об'єктна ситуація визначення роботоздатності конструкційних матеріалів розкривається через метрологію, стандартизацію, сертифікацію та системну парадигму визначення параметрів стану матеріалів. Сама парадигма визначення параметрів стану об'єкта дослідження (ОД) безвідносно до прикладних задач, методів і засобів дослідження ґрунтується на концептуальних засадах відбору даних від об'єкта: методологічному підході до відбору інформації; процедурі вимірювання фізичних величин, пов'язаних з параметрами руйнування матеріалів; методології вимірювання/ контролю, діагностування, розпізнавання.

Проблемно-об'єктна ситуація визначення роботоздатності матеріалів в умовах експлуатації незалежно від методів і засобів дослідження (фізичних ефектів, покладених в їх основу) на стику напрямків металознавства (матеріалознавства), неруйнівного контролю, механіки руйнування представлена трьома рівнями (рис.2):

– об'єкт, предмет, задачі дослідження у визначенні роботоздатності матеріалів:

а) об'єкт дослідження – матеріали, елементи енергетичного обладнання;

б) предмет дослідження – процедура вимірювання фізичних величин, пов'язаних з параметрами руйнування;

в) задачі дослідження – створення парадигми та методологічного підходу до визначення параметрів стану матеріалів; створення методології вимірювання фізичних величин та методики визначення параметрів НДС за відповідних методів випробувань та факторів впливу; розроблення структури та системної моделі МЗ вимірювання фізичних величин; розроблення методології та методики оцінювання залишкового ресурсу конструкційних матеріалів;

– інформаційні технології відбору даних від ОД, які використовуються для задач вимірювання фізичних величин; визначення параметрів стану ОД в рамках процедур випробування, вимірювання (контролю, діагностування, розпізнавання) та їх метрологічного забезпечення залежно від виду руйнування матеріалів (крихке, квазікрихке, пластичне), параметрів руйнування, вибраних для визначення;

– результати дослідження, направлені на: оцінювання відповідності параметрів об'єкта заданим вимогам в рамках системи стандартизації методики визначення залишкового ресурсу матеріалів на основі відповідної концепції і методології та сертифікації об'єкта згідно терміну експлуатації, визначеного відповідним методом.

Третій рівень проблемно-об'єктної ситуації розкривається структурою зв'язку метрології, стандартизації, сертифікації в задачах неруйнівного контролю матеріалів у механіці руйнування [10]. Така структура

представлена елементами:

- метрології і стандартизації щодо методів, засобів, методик і метрологічного забезпечення вимірювань;
- неруйнівного контролю і стандартизації щодо методів, засобів, технологій, метрологічного забезпечення неруйнівного контролю;
- системи якості продукції (об'єктів неруйнівного контролю (НК), технічного діагностування) та управління якістю через оцінювання залишкового ресурсу як об'єктів експлуатації, так і засобів НК.

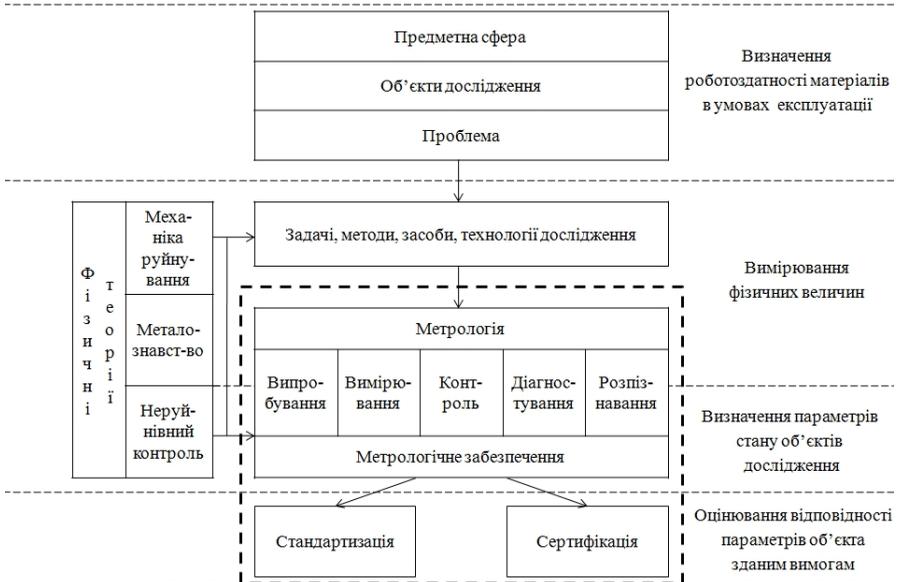


Рис. 2. Проблемно-об'єктна ситуація: вимірювання та неруйнівний контроль у механіці руйнування матеріалів

### **3. Парадигма визначення параметрів НДС матеріалів та єдиний методологічний підхід до відбору інформації від об'єкта**

Парадигма визначення параметрів стану матеріалів, металоконструкцій, елементів енергетичного обладнання незалежно від методів і засобів дослідження представлена реалізується на етапах (рис.3):

- розроблення методологічного підходу до визначення параметрів стану конструкційних матеріалів на основі відповідних моделей і методик з врахуванням: засобів механічних випробувань та інформаційних технологій відбору та оброблення даних; процедури, методології, метрологічного забезпечення вимірювання;
- розроблення концепції, методології та методики визначення

залишкового ресурсу на основі принципів системного оцінювання роботоздатності відповідних матеріалів, елементів енергетичного обладнання;

– створення інформаційної моделі гармонізованої системи стандартів предметних сфер – металознавства, неруйнівного контролю, механіки руйнування, теорії вимірювання, метрології для розроблення автоматизованої системи інформаційних ресурсів.



Рис. 3. Структура парадигми визначення параметрів НДС матеріалів

Парадигма оцінювання роботоздатності елементів енергетичного обладнання проектується на проблему визначення параметрів напружено-деформованого стану матеріалів рівнями:

– створення методологічного підходу до визначення параметрів НДС на основі: основних макромеханізмів поширення тріщини, підходів і критеріїв у механіці руйнування; видів зразків для механічних випробувань за статичного навантаження;

– розроблення методології вимірювання фізичних величин, пов'язаних з параметрами НДС матеріалів на основі відповідних методів, засобів інформаційних технологій реєстрації даних від ОД;

– створення структури системної моделі метрологічного забезпечення (МЗ) вимірювання параметрів НДС.

Структура єдиного методологічного підходу до відбору інформації від об'єкта дослідження адаптується до відповідної проблеми і предметної сфери

(предметних сфер) на основі: принципів системного аналізу ОД; елементів теорії вимірювання; методів і засобів інформаційних технологій реєстрації даних (випробувальних установок, первинних вимірювальних перетворювачів, вимірювальних каналів інформаційних систем); елементів метрологічного забезпечення; системи стандартів (використовуваних, розроблюваних) на об'єкти, методи, засоби, методики (рис.4).

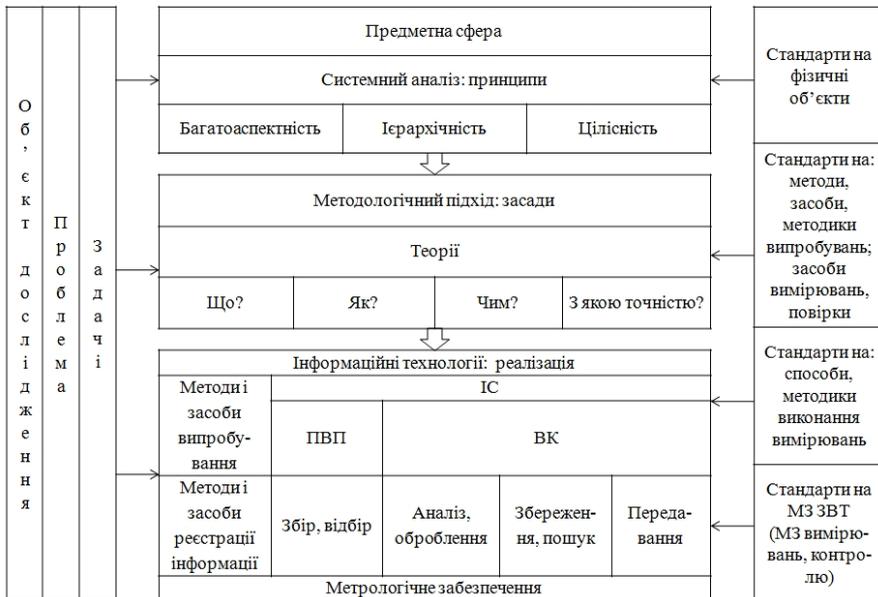


Рис. 4. Єдиний методологічний підхід до відбору даних від об'єкта дослідження

### 3. Процедура вимірювання та методологія вимірювання у єдиному методологічному підході до відбору даних

Процедура вимірювання у методологічному підході до визначення параметрів стану об'єктів представлена адекватно до цільової задачі та експерименту на основі взаємозв'язку елементів: об'єкта дослідження, моделі сигналу, інформаційної технології (методу, засобу, алгоритму) відбору і оброблення даних (рис.5). Для задач вимірювання/ контролю, діагностування, розпізнавання параметрів ОД створена єдина методологія, яка узгоджує: модель об'єкта, модель засобу, модель вимірювання, модель похибки, модель алгоритму оцінювання метрологічних характеристик з метою досягнення необхідної точності відбору інформації і, на цій основі, визначення параметрів стану матеріалів, далі оцінювання залишкового ресурсу об'єкта експлуатації. З метою забезпечення єдності і точності процедур вимірювання/контролю, діагностування, розпізнавання створена концепція метрологічного забезпечення [10].

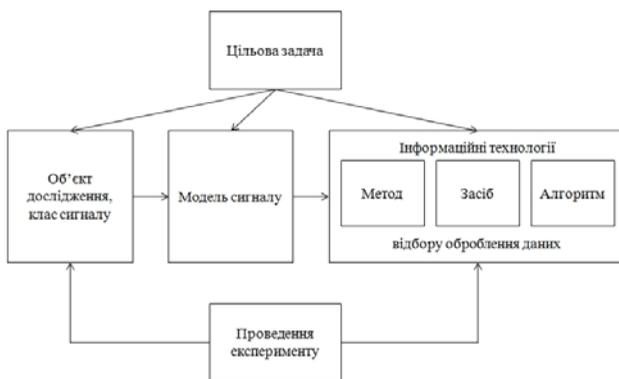


Рис. 5. Процедура вимірювання у єдиному підході до відбору даних від ОД

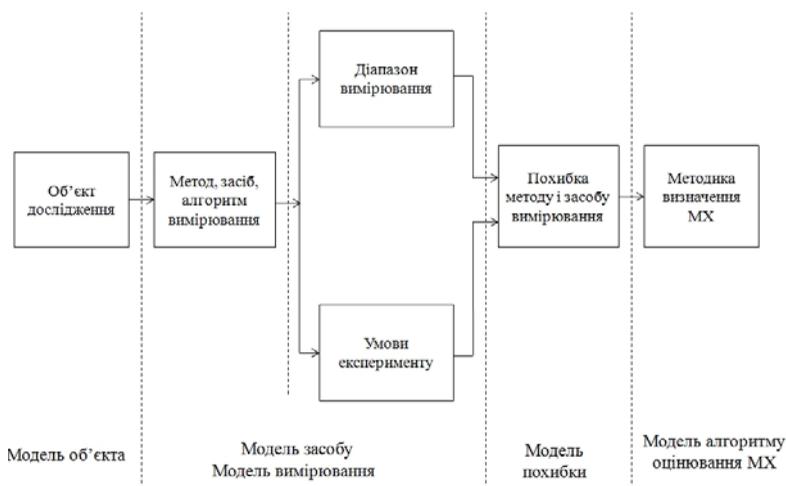


Рис. 6. Методологія вимірювання фізичних величин, пов'язаних з параметрами НДС матеріалів

#### 4. Аспекти методологічного підходу до визначення параметрів НДС матеріалів

Методологічний підхід [11] створений в рамках системної концепції для розроблення інформаційних технологій відбору даних від об'єкта [12]. Він об'єднує задачі вимірювання, неруйнівного контролю у механіці руйнування згідно вибраних підходів і критеріїв за дії факторів експлуатації об'єкта – температури, тиску водню, навантаження, умов експерименту на рівні методів і засобів інформаційних технологій відбору даних, методології вимірювання фізичних величин, методики визначення параметрів НДС

матеріалів, метрологічного забезпечення. Методологічний підхід до визначення параметрів НДС об'єкта ґрунтується на:

- основних макромеханізмах розповсюдження тріщини: нормального відриву (модель I), поперечного зсуву (модель II), поздовжнього зсуву (модель III);

- підходах у механіці руйнування – енергетичному, силовому, деформаційному;

- критеріях руйнування: критерій Гріффітса-Орована (формула Гріффітса), критерій  $R$ -кривих, критерій  $J$ -інтеграла; критерій Ірвіна і адаптованих до нього; КРТ-критерію (критичного розкриття тріщини) і адаптованих до нього;

- типах зразків (циліндричних, компактних, балкових), вибраних для механічних випробувань за статичного навантаження розтягуванням;

- встановлених аналітичних виразах для енергетичних, силових, деформаційних параметрів НДС матеріалу (наприклад, для коефіцієнтів інтенсивності напружень:  $K_I$  для тріщини нормального відриву,  $K_{II}$  для поперечного зсуву,  $K_{III}$  для поздовжнього зсуву).

Розглянемо схему відповідності підходів, критеріїв, параметрів руйнування матеріалів основним макромеханізмам розповсюдження тріщини у матеріалі зразка (рис.7).

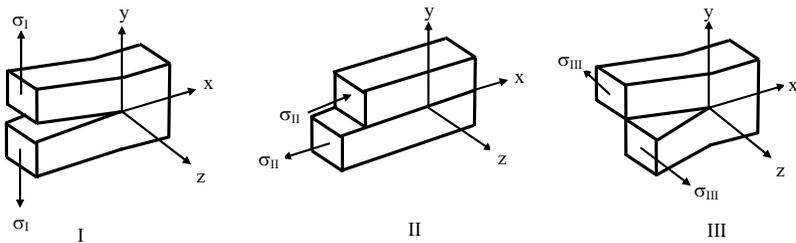


Рис.7. Моделі тріщин: модель I – тріщина нормального відриву, модель II – тріщина поперечного зсуву, модель III – тріщина поздовжнього зсуву

### **Тріщина нормального відриву:**

- силовий підхід: критерій Ірвіна; параметри  $K_I$ ,  $K_{IC}$ , ( $K_C$ ); лінійна механіка, крихке, квазікрихке руйнування матеріалів;

- деформаційний підхід: КРТ-критерій (критичного розкриття тріщини),  $\delta_k$ - модель; параметри  $\delta_I$ ,  $\delta_{IC}$ ; нелінійна механіка, пластичне руйнування матеріалів;

- енергетичний підхід: критерій Гріффітса-Орована, формула Гріффітса; критерій  $R$ -кривих; критерій  $J$ -інтегралу т. і.; параметри  $J_C$  ( $J_{IC}$ ); лінійна механіка, крихке та квазікрихке руйнування матеріалів.

### ***Тріщина поперечного зсуву:***

– силовий підхід: модифікація критерію Ірвіна за поперечного зсуву; параметри  $K_{II}$ ,  $K_{IIC}$ ; лінійна механіка, крихке та квазікрихке руйнування матеріалів;

– деформаційний підхід: модифікація КРТ-критерію – механізм переміщення берегів тріщини для поперечного зсуву,  $\delta_k$  - модель; параметри  $\delta_{II}$ ,  $\delta_{IIC}$ ; нелінійна механіка, пластичне руйнування матеріалів;

– енергетичний підхід: критерій Гріффітса-Орвана, формула Гріффітса; критерій R-кривих; критерій J-інтеграла т. і.; параметри  $J_C$  ( $J_{IIC}^{***}$ ), лінійна механіка, крихке та квазікрихке руйнування матеріалів.

\*\*\*Методологія (методика) визначення параметрів  $J_C$  ( $J_{IIC}$ ) є ускладненою, оскільки вимагає проведення процедури повторного отримання втомної тріщини.

### ***Тріщина поздовжнього зсуву:***

– силовий підхід: модифікація критерію Ірвіна за поздовжнього зсуву; параметри  $K_{III}$ ,  $K_{IIIC}^*$ ; лінійна механіка, крихке та квазікрихке руйнування матеріалів.

– деформаційний підхід: модифікація КРТ-критерію – механізм переміщення берегів тріщини для поздовжнього зсуву,  $\delta_k$  - модель; параметри  $\delta_{III}$ ,  $\delta_{IIIC}$ ; нелінійна механіка, пластичне руйнування матеріалів;

– енергетичний підхід: критерій Гріффітса-Орвана, формула Гріффітса; критерій R-кривих; критерій J-інтеграла т. і.; параметри  $J_C$  ( $J_{IIIC}^{***}$ ), лінійна механіка, крихке та квазікрихке руйнування матеріалів.

\*Параметр  $K_{IIIC}$  визначається за дуже великих діаметрів циліндричного зразка.

\*\*\*Методологія (методика) визначення параметрів  $J_C$  ( $J_{IIIC}$ ) є ускладненою, оскільки вимагає проведення процедури повторного отримання втомної тріщини;

## ***5. Елементи інформаційної технології відбору даних про НДС матеріалів та системна модель метрологічного забезпечення***

Для визначення характеристик статичної тріщиностійкості матеріалів реалізуються методики механічних випробувань, які враховують: вид зразка, вид зовнішнього навантаження, макромеханізм поширення тріщини. Наприклад, силовий підхід на основі методів механічних випробувань відповідних видів зразків та дії статичного навантаження на розтягування (або на згин) дозволяє визначати силові та енергетичні характеристики, деформаційну характеристику тріщиностійкості матеріалів. Основними елементами реалізації методів механічних випробувань зразків матеріалів на міцність за нормального відриву є [13]:

1. визначення стандартних механічних характеристик зразків матеріалу;

2. визначення основних характеристик статичної тріщиностійкості:
  - а) силових  $K_{IC}$  – критичного коефіцієнта інтенсивності напружень,  $K_C^*$  – умовного критичного коефіцієнта інтенсивності напружень для зразка відповідної товщини або діаметра,  $K_C$  – критичного коефіцієнта інтенсивності напружень для зразка відповідної товщини або діаметра за максимального навантаження,  $K_{QT}$  – критичного коефіцієнта інтенсивності напружень для зразка відповідної товщини або діаметра,
    - б) деформаційної – розкриття у вершині тріщини  $\delta_C$ ,
    - в) енергетичних – критичних значень  $J$ -інтеграла  $J_C$  або  $J_{IC}$ ;
3. застосування зразків для механічних випробувань:
  - а) плоского прямокутного з центральною тріщиною для випробувань на осьове розтягування,
  - б) циліндричного з кільцевою тріщиною для випробувань на осьове розтягування,
  - в) прямокутного компактного зразка з крайовою тріщиною для випробувань на позакентрове розтягування,
  - г) плоского прямокутного зразка з крайовою тріщиною для випробувань на триточковий згин;
4. використання випробувального обладнання:
  - а) випробувальні машини з механічним, гідравлічним (електрогідравлічним) приводом,
  - б) тензорезисторні давачі переміщення (прогину);
5. проведення механічних випробувань: реєстрація діаграм зусилля  $P$  – переміщення  $V$  (або зусилля  $P$  – прогин  $f$ );
6. оброблення результатів випробувань: обчислення параметрів  $K_{IC}$ ,  $K_C^*$ ,  $K_C$ ,  $K_{QT}$  за видами діаграм  $P - V$ ; обчислення критичного розкриття тріщини  $\delta_C$  за видами діаграм  $P - V$ ; обчислення критичних значень  $J_C$  або  $J_{IC}$  за видами діаграм  $P - V$  (або  $P - f$ ) (рис.8).

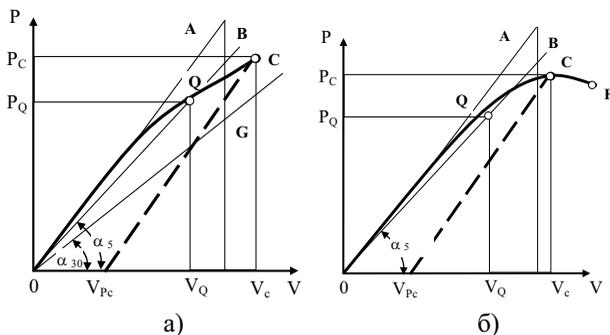


Рис.8. Діаграми пружно-пластичного руйнування матеріалу за нормального відриву для визначення параметрів  $K_{IC}$ ,  $K_C^*$ ,  $K_C$ ,  $K_{QT}$ ;  $\delta_C$ : а) III типу, б) IV типу

На рис. 8 показані діаграми III та IV типу пружно-пластичного руйнування матеріалу зусилля  $P$  – переміщення  $V$  за статичного навантаження відповідних видів зразків на розтягування, які отримують експериментально для обчислення силових характеристик статичної тріщиностійкості та деформаційної характеристики. Наприклад, параметри тріщиностійкості за діаграмою III типу такі: якщо  $P_Q = 0,9 P_C$  ( $\alpha = 5\%$ ), то  $K_I = K_{IC}$  для циліндричного зразка; якщо  $P_Q \neq 0,9 P_C$ , то  $K_I \neq K_{IC}$  для циліндричного зразка;  $K_I = K_C$  для матеріалу.

Методологія визначення параметра  $K_{IC}$  – критичного значення інтенсивності напружень за силового підходу (тріщина нормального відриву) для циліндричного зразка сталі 20 розглянута в роботі [14]. Інформаційна технологія відбору даних про НДС матеріалів включає в себе: зразок – пластину з прямолінійною тріщиною (або циліндричний зразок з кільцевою тріщиною) за схемою статичного навантаження розтягуванням; установку механічних випробувань; вимірювальну інформаційну систему (ВІС) (рис.8).

Вимірювальна інформаційна система у своїй структурі має три типи вимірювальних каналів:  $ВК_1$  тензометричний канал (встановлюється тензодавач ТД, збільшується кількість каналів до 3-х);  $ВК_2$  розкриття тріщини (встановлюється давач розкриття тріщини ДРТ, збільшується кількість каналів до 3-х); розкриття тріщини можна фотографувати відеокамерою з виходом на персональний комп'ютер (ПК);  $ВК_3$  навантаження (встановлюється давач навантаження ДН).

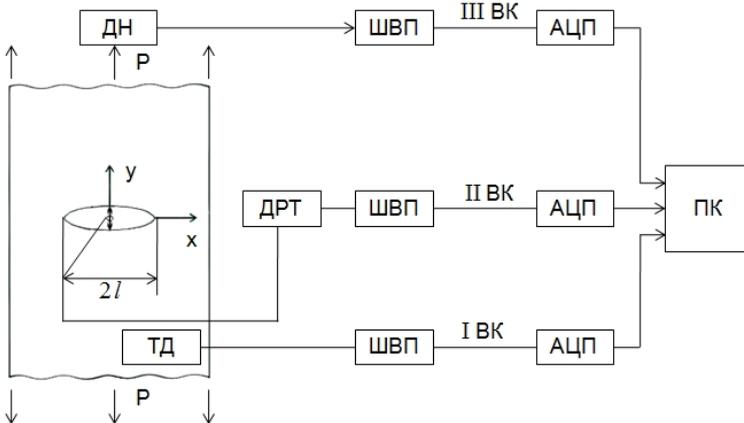


Рис.9. Структура вимірювальних каналів системи реєстрації і оброблення даних про НДС матеріалів: I ВК – тензометричний; II ВК – розкриття тріщини; III ВК – навантаження

Вимірювальні канали  $ВК_1$ ,  $ВК_2$ ,  $ВК_3$  системи реєстрації і оброблення даних про НДС матеріалу функціонують у двох режимах:

1. ВК<sub>2</sub>, ВК<sub>3</sub> – призначені для визначення механічних характеристик матеріалу за механічних випробувань зразка пластини без тріщини: відповідно вимірювання зусилля  $P$  та подовження зразка  $\Delta l$ ; побудови діаграми  $P - \Delta l$ ; визначення механічних характеристик  $\sigma_{0,2}$  – умовної межі плинності;  $\sigma_B$  – межі міцності;  $\delta$  – відносного видовження зразка;  $\psi$  – відносного звуження (наприклад, для сталі 20 (рис.10));

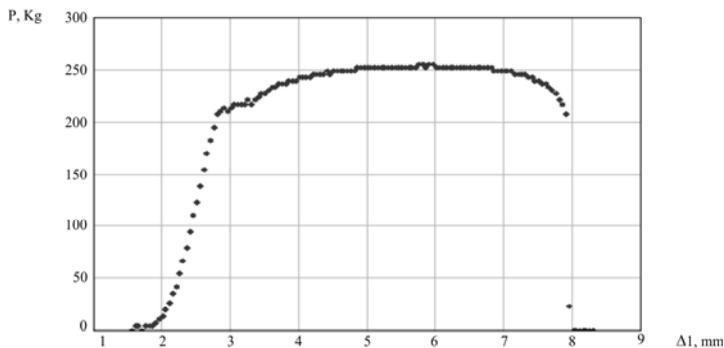


Рис. 10. Діаграма зусилля  $P$  – приріст подовження  $\Delta l$  робочої частини зразка сталі 20 для визначення механічних характеристик

2. ВК<sub>1</sub> – призначений для визначення параметра локальної деформації матеріалу  $\varepsilon$  перед вершиною тріщини за статичного навантаження циліндричного зразка з кільцевою тріщиною розтягуванням; побудови діаграмою  $\sigma - \varepsilon$ ; визначення механічного напруження  $\sigma$  в межах закону Гука (рис.11) [2];

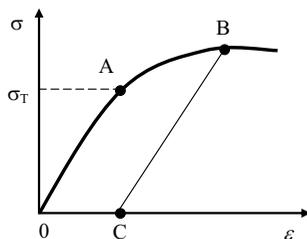


Рис. 11. Діаграма пружно-пластичного руйнування за статичного навантаження зразка розтягуванням: OAB – процес навантаження; OA – лінійна пружна зона ( $\sigma_T$  (A) – межа плинності); AB – пластична зона, B – повна деформація; BC – процес розвантаження; C – залишкова деформація ( $\sigma = 0$ )

ВК<sub>2</sub> та ВК<sub>3</sub> – призначені для вимірювання відповідно зусилля  $P$  та переміщення  $V$  за силового підходу (статичного навантаження розтягуванням



Процедура визначення параметрів тріщиностійкості завершується перевіркою результатів випробувань  $\sigma_{0,2}$ ,  $K_{IC}$  на достовірність шляхом виконання умов автотельності для відповідного типу зразка і тріщини [2]. Якщо ж умови автотельності не виконуються, то експерименти повторюють на зразках більшого діаметра.

Метрологічне забезпечення вимірювання параметрів НДС матеріалу враховує: 1) рівень об'єкта – фізичне поле ОД, фізичні величини, пов'язані з параметрами НДС; 2) рівень експерименту – засоби механічних випробувань та засоби вимірювання; 3) рівень методології: спосіб, метод, методика випробування і вимірювання; 4) рівень точності: системна модель МЗ, методика проведення метрологічної атестації, методика оцінювання метрологічних характеристик ВК системи відбору інформації про НДС об'єкта. Системна модель МЗ розроблена на основі взаємозв'язку та взаємодії: моделі об'єкта, моделі вимірювання, моделі алгоритму опрацювання результатів вимірювання, узгоджених з моделлю ВК та з моделлю похибки ВК (рис.13).

**Висновки.** Запропоновано аналітичну структуру щодо визначення роботоздатності матеріалів, яка залежно від класу енергетичного обладнання окреслює проблемно-об'єктну ситуацію на рівні: задачі, інформаційних технологій дослідження властивостей матеріалів, оцінювання залишкового ресурсу об'єкта експлуатації.

Створено парадигму визначення параметрів стану матеріалів, елементів енергетичного обладнання на основі: проблемно-об'єктної ситуації, єдиного методологічного підходу до відбору даних, який модифікується адекватно до задачі, зокрема до проблеми визначення НДС матеріалу в рамках системи підходів і критеріїв механіки руйнування та системи методів і засобів неруйнівного контролю, вимірювання.

Розроблено процедуру і методологію вимірювання для інформаційних технологій відбору сигналів від об'єктів дослідження та визначення параметрів руйнування матеріалів. Запропоновано системну модель метрологічного забезпечення неруйнівного контролю у механіці руйнування на прикладі – методології визначення параметрів НДС матеріалів тензометричним методом.

1. Патон Б.Е., Недосека А.Я. О новых подходах в оценке состояния сварных конструкций и определения их остаточного ресурса // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2000. – №1. – С.3-8.
2. Механика разрушения и прочность материалов: Справ. пособие: В 4-х т./ Под общ. ред. В.В. Панасюка. – Киев: Наук. думка, 1988 – 1990.
3. Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд і машин // Збірник наукових праць за результатами, отриманими у 2007 – 2009 рр. – Київ: Інститут електроварування ім. О.С. Патона НАН України, 2009. – 709 с.
4. Векслер Е.Я., Замекула И.В., Толстов В.Ю., Семешко Е.В. Технология диагностирования и оценка остаточного ресурса паропроводов высокого давления

- тепловых электростанций по уровню микроповрежденности металла // Техн. диагностика и неразрушающий контроль. – 2010. – N 1. – С. 23-31
5. Дубов. А.А. Проблемы оценки остаточного ресурса стареющего оборудования // Техн. диагностика и неразрушающий контроль. – 2010. – N 2. – С. 49-54.
6. *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.
7. *Назарчук З.Т., Скальський В.Р.* Акустико-емісійне діагностування елементів конструкцій: Науково-технічний посібник: У 3-х томах. – Т.1: Теоретичні основи методу акустичної емісії. – К.: Наук. думка, 2009. – 287 с.
8. *Муравський Л.І.* Методи спекл-кореляції для дослідження механічних властивостей конструкційних матеріалів. – К.: Наукова думка, 2010. – 208 с.
9. *Сікора Л.С.* Лазерні інформаційно-вимірювальні системи для управління технологічними процесами. Частина 2. Системологія прийняття рішень в складних технологічних структурах / Сікора Л.С. – Львів: Каменяр, 1998. – 453 с.
10. *Микитин Г. В.* Основи метрології: Навчальний посібник. – Львів: СПОЛОМ, 2008. – 296 с.
11. *Микитин Г.В.* Методологічні засади для інформаційної технології відбирання даних про напружено-деформований стан конструкційних матеріалів // Вимірювальна техніка і метрологія, №71, 2010. – С.45-51
12. *Микитин Г. В., Сікора Л.С.* Системна концепція для розроблення інформаційних технологій відбору і оброблення різномірних даних від об'єктів дослідження // Збірник наукових праць інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.С. Пухова НАН України, 2010. – №.57 – С. 126-134
13. *ГОСТ 25. 506 – 85* Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении
14. *Микитин Г. В., Сікора Л.С.* Системна модель визначення параметрів напружено-деформованого стану конструкційних матеріалів // Збірник наукових праць інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.С. Пухова НАН України, 2010. – №.58 – С. 134-141

*Поступила 21.02.2011р.*

УДК 621.373.826

Н.В. Ярка, аспірант, Українська академія друкарства (УАД), Львів

## **ПРОБЛЕМИ ФОКУСУВАННЯ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ТА СПОСОБИ ЇХ ВИРІШЕННЯ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ДРУКАРСЬКИХ ФОРМ**

Розглянута залежність фокусування лазерного пучка від характеристик випромінювання та виконаний короткий огляд способів підвищення роздільної здатності запису зображення на формний матеріал при виготовленні