



<sup>1</sup>С. В. Штефан, канд. техн. наук, доц.,

<sup>2</sup>О. Ю. Черноусенко, канд. техн. наук, доц.,

<sup>1</sup>А. В. Башта, канд. техн. наук, доц.

### **ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИЗНАЧЕННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОГО РЕСУРСУ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ КОНСТРУКЦІЙ ЕНЕРГОМАШИНОБУДУВАННЯ**

<sup>1</sup>Національний університет харчових технологій, shtefan@visti.com

<sup>2</sup>Національний технічний університет «КПІ», cher\_olya@2c.kiev.ua

*Подано методику оцінювання індивідуального ресурсу високотемпературних елементів енергетичного обладнання на основі визначення теплового стану, напружено-деформованого стану та втомленості паропроводів, корпусів, роторів, стопорних клапанів турбомашин за типових режимів роботи енергоблока. Методика ґрунтується на методах математичного моделювання з використанням цифрових моделей SOLIDWorks, ANSYS та COSMOSWorks у тривимірній постановці.*

**Постановка проблеми та її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями.** Робота сучасного енергетичного обладнання в базових експлуатаційних режимах та в нестаціонарних перехідних при регулюванні електричних навантажень зумовлює підвищення вимог до безпеки та надійності роботи основних конструктивних елементів турбомашин. Тому особливої актуальності набуває проблема визначення індивідуального ресурсу елементів конструкцій на основі комплексного підходу, який об'єднує експериментальні дослідження металу з теоретичними розробками на міцність та довговічність [1; 2].

**Аналіз останніх досліджень** проблеми підвищення довговічності елементів енергетичного обладнання показує [2; 3; 4; 5], що ресурс турбомашин визначається параметрами втомленості металу конструкцій в поточному стані. При цьому необхідно враховувати реальні умови експлуатації відповідних елементів конструкцій. Ефективність проведення цих досліджень значною мірою зумовлено використанням інформаційних технологій аналізу технічних параметрів, які визначають ресурс конструкцій [6].

**Мета роботи** полягає у розробленні інформаційної технології аналізу конструктивно-технологічних параметрів, що визначають індивідуальний ресурс елементів турбомашин.

**Методика досліджень** ґрунтується на сучасних комп'ютерних технологіях, що реалізують математичні моделі процесів високотемпературної експлуатації елементів турбомашин та прогнозування ресурсу для заданих параметрів режимів роботи. Схематично запропоновану методику показано на рис. 1. Як приклади об'єктів досліджень розглянуто основні елементи енергетичного обладнання: трубопроводи для транспортування пари, корпуси, ротори, клапани парової машини для типових експлуатаційних режимів.

Ресурс подібних елементів турбоустановки залежить від кількості її штатних експлуатаційних режимів до появи макропошкоджень (тріщин) у металі. Відповідно до методики (рис. 1) визначення ресурсу розглянутих конструкцій зводиться до таких основних етапів.

На першому етапі з використанням інформаційної моделі об'єктів дослідження (ОД), яка враховує всі його конструктивно-технологічні параметри, розробляють розрахункову схему процесу високотемпературної експлуатації елементів турбомашин. Основною складовою частиною розрахункової схеми є геометрична модель (рис. 2), яка відображає всі основні конструктивні особливості ОД. Для побудови геометричних моделей використовувались цифрові моделі SolidWorks або Inventor.

На другому етапі у межах розробленої розрахункової схеми розв'язують крайову задачу нестационарної теплопровідності. Результатом розв'язання задачі є кінетика перерозподілу температури в ОД протягом заданого експлуатаційного режиму. Як інструментальні засоби використовують спеціалізовані цифрові моделі ANSYS і COSMOSWorks.

На третьому етапі визначають напружено-деформований стан (НДС) (розподіл напружень, переміщень та деформацій в ОД), зумовлений температурним градієнтом та іншими технологічними аспектами (тиском теплоносія, відцентровими силами та ін.).

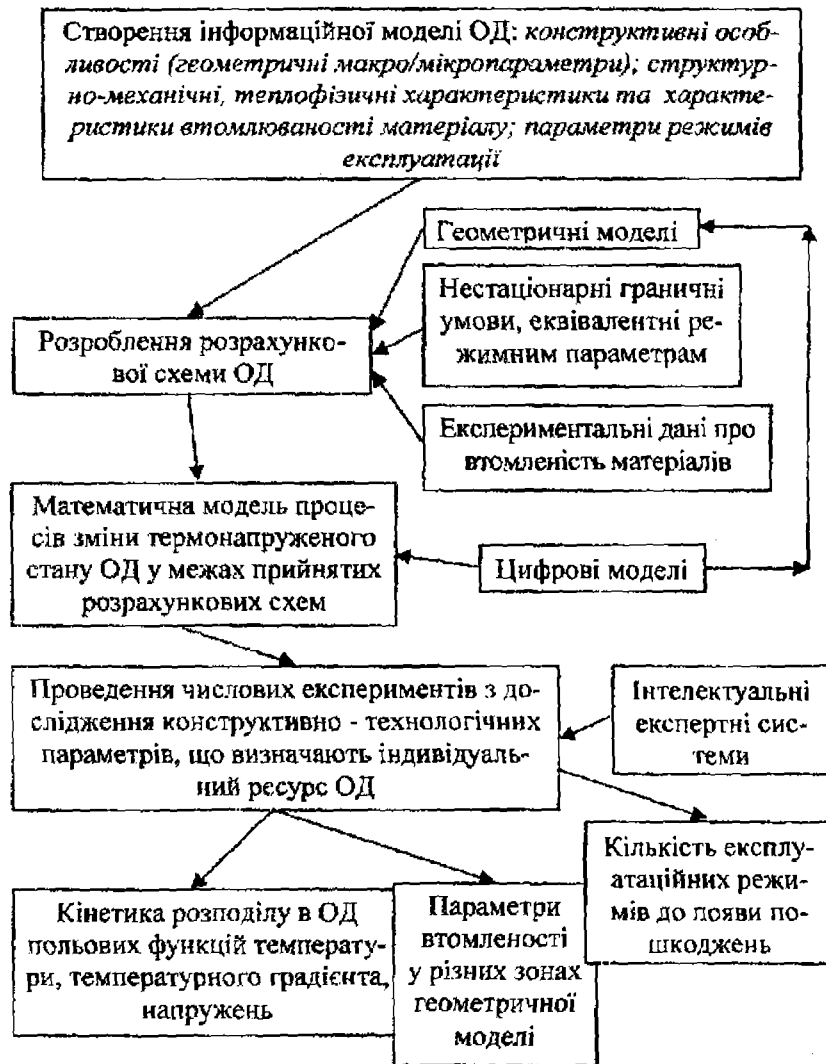


Рис. 1. Схема визначення ресурсу елементів турбомашин

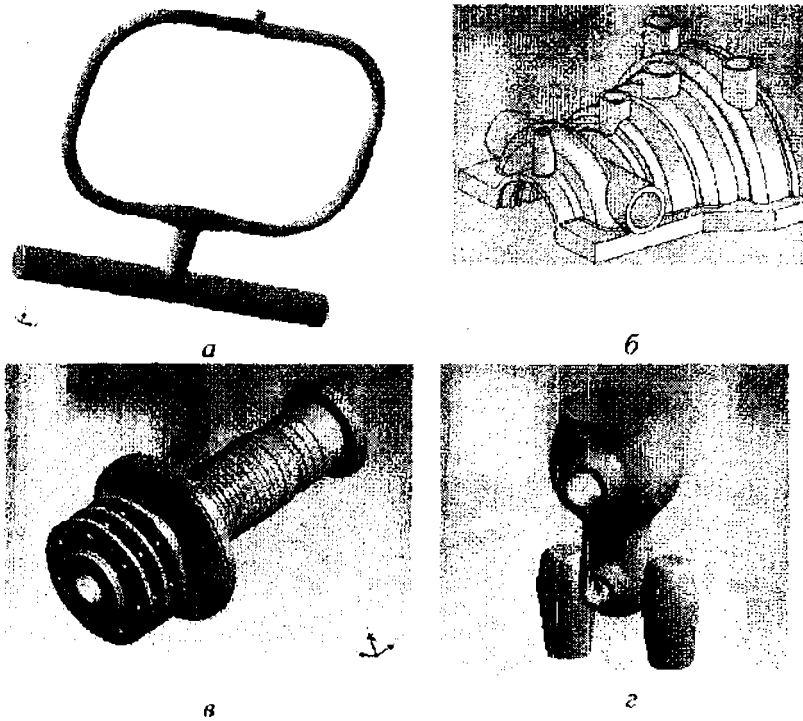


Рис. 2. Геометричні моделі високотемпературних елементів турбомашин:  
*а* – фрагмент паропроводу атомної електростанції; *б* – частина корпусу парової турбіни; *в* – фрагмент ротора парової турбіни; *г* – корпус клапана парової турбіни

Визначення кінетики (перерозподіл з часом) НДС полягає у розв'язанні квазистатичної задачі пружно - пластичності для моментів часу, де напруження досягають екстремальних значень. Відповідні екстремальні моменти часу визначаються на основі аналізу кінетики розподілу градієнта температури.

На четвертому етапі на основі результатів проведеного аналізу кінетики зміни НДС конструкцій виконують розрахунок допустимої кількості, розглянутих експлуатаційних режимів до появи пошкоджень. Для цього в разі використання цифрових моделей ANSYS і COSMOSWorks у програмному меню задаються такі параметри:

• Тип циклічного навантаження – задається коефіцієнтом асиметрії циклу:

- fully reversed ( $R = -1$ ) – цілком реверсивне навантаження;
- zero-based ( $R = 0$ ) – відлік від нуля;
- loading ratio – довільна асиметрія навантаження.

• Крива втоми матеріалу – задається за наявними експериментальними дослідженнями для різних сталей при відповідних базах циклічного навантаження.

• Коефіцієнт опору втоми ( $K_f$ ) – дозволяє враховувати можливі розсіювання вимірювань у разі експериментального отримання кривої втоми. Діапазон зміни  $K_f$  від 0 до 1. Коефіцієнт  $K_f$  є аналогом коефіцієнта запасу за кількістю циклів  $n_N$  [7; 8].

• Масштабний коефіцієнт навантаження (scale factor). Його числове значення дозволяє штучно змінювати амплітуду циклічного навантаження. Цей параметр є аналогом коефіцієнта запасу за напруженнями  $n_\sigma$  [7; 8].

Практичне використання поданої методики дозволило визначити:

– для високотемпературного паропроводу (рис.1, а) – індивідуальний ресурс (у годинах експлуатації) його елементів, зумовлений малоцикловою втомою матеріалу внаслідок теплових змін, та багатоцикловою втомою внаслідок вібрації;

– для конструктивних елементів парових турбін – індивідуальний ресурс (у кількості пускових режимів) із врахуванням особливостей технологічного регламенту експлуатації електростанції.

### **Висновки**

Розроблено інформаційну технологію дослідження закономірностей експлуатації високотемпературних елементів турбомашин, яка спрямована на визначення їх індивідуального ресурсу. Тривимірні геометричні моделі ОД дозволили максимально врахувати конструктивно-технологічні параметри їх експлуатації. Використання запропонованих методик дозволить розробити рекомендації щодо продовження терміну експлуатації високотемпературних елементів турбомашин.

#### Список літератури

1. *НД МПЕ України*. Контроль металу і продовження терміну експлуатації основних елементів котлів, турбін і трубопроводів теплових електростанцій: Типова інструкція. СОУ-Н МПЕ 40.17.401:2004.
2. *РД 10-577-03*. Типовая инструкция по контролю металла и продлению срока службы основных элементов котлов, турбин и трубопроводов тепловых электростанций. – М., 2003.
3. *Дубов А.А.* Проблемы оценки остаточного ресурса стареющего оборудования // Теплоэнергетика. – 2003. – №11. – С. 54–57.
4. *Попов А.Б., Перевалова Е.К., Сверчков А.Ю.* Проблема продления ресурса теплоэнергетического оборудования ТЭС // Теплоэнергетика. – 2003. – №4. – С. 29–36.
5. *Трухний А.Д.* Новый подход к оценке малоциклового долговечности деталей энергетического оборудования // Теплоэнергетика. – 1994. – №4. – С. 2–6.
6. *Штефан Е.В.* Информационные технологии проектирования технологического оборудования для механической обработки дисперсных материалов // Междунар. период. сб. науч. тр. «Обработка дисперсных материалов и сред. Теория, исследования, технология, оборудование». – Одесса: НПО «ВОТУМ», 2002. Вып. 12. – 338 с.
7. *РТМ 108.021.103*. Детали паровых стационарных турбин. Расчет на малоцикловую усталость. – М., 1985, № АЗ-002/7382. – 49 с.
8. *РТМ 24.020.16-73*. Турбины паровые стационарные. Расчет температурных полей роторов и цилиндров паровых турбин методом электро моделирования. – М., 1973, № ВК-002/3209. – 104 с.

