



УДК 539.3

## **МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОЛИВАНЬ ЛОПАТКОВОГО АПАРАТУ З УРАХУВАННЯМ КОНСТРУКЦІЙНИХ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ФАКТОРІВ, ВКЛЮЧАЮЧИ ПОШКОДЖЕННЯ**

**Чугай М.О.**

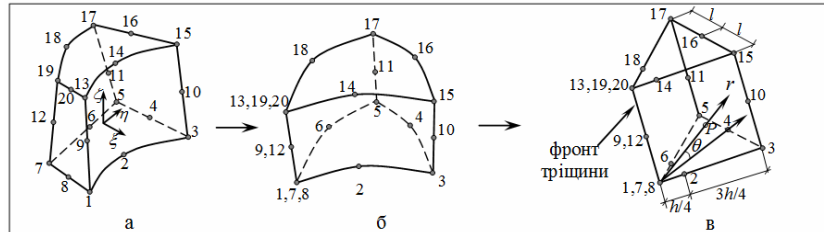
Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАНУ,  
[chugay@ipmach.kharkov.ua](mailto:chugay@ipmach.kharkov.ua)

Сучасні методи досліджень, що використовуються при проектуванні лопаткових апаратів, дозволяють надійно оцінити середній рівень вібраційних напружень. Однак технологічні та експлуатаційні фактори приводять до виникнення зон небезпечних вібраційних напружень у лопатковому апараті. Дослідження і аналіз цих негативних факторів дозволяє розробити заходи щодо зниження рівня локалізації вібраційних напружень і підвищення вібраційної надійності. Тривимірний підхід у сполученні з методом скінчених елементів дозволяє одержати повну картину розподілу напружень і виявити зони локалізації небезпечних напружень.

В умовах підвищення питомої потужності сучасних ГТД і, як наслідок, зростання інтенсивностей вібраційних навантажень неможливо забезпечити зниження середнього рівня динамічних напружень в лопатковому апараті. Тому важливо виявити причини та особливості виникнення зон локалізації вібраційних напружень, які становлять основну небезпеку для міцності конструкції.

Проведений аналіз літературних джерел свідчить про різноманіття підходів до рішення проблеми руйнування при розгляді її з погляду механіки суцільного середовища. Однак, опис сингулярного характеру розподілу напружень і деформацій в околиці вершини тріщини залишається актуальним [1, 2].

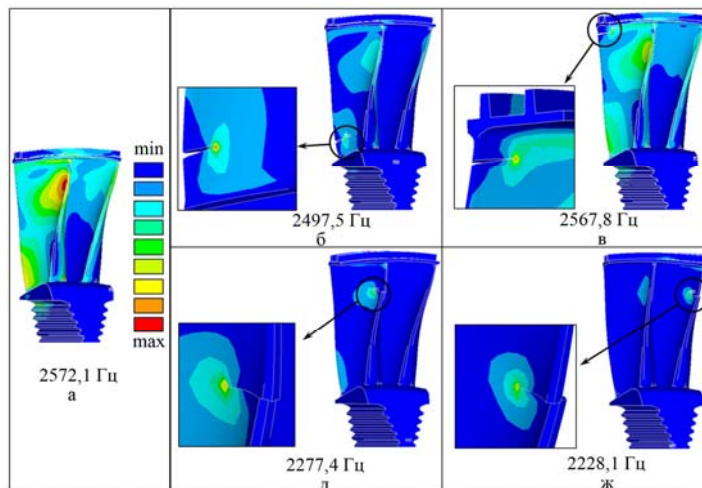
Для моделювання сингулярного поля напружень у вершині пошкодження використовуються ізопараметричні вироджені скінченні елементи з проміжними вузлами, що зсунуті на чверть довжини сторони за напрямком вершини тріщини (мал. 1) [1-3]. Ці елементи прийняті в даній роботі за основу при моделюванні тріщин у досліджуваних конструкціях. Пошкодження розглядаються як виріз, що має границі, що не контактують при будь-яких деформаціях конструкції.



Мал.1. Скінченні елементи, що використовуються в роботі

В роботі побудовано скінченноелементні моделі робочих лопаток, паке-тів та робочих коліс, для визначення вібраційних характеристик яких здійсне-на адаптація розрахункових методів на основі тривимірного підходу методу скінченних елементів. Досліджено закономірності впливу розміру та місця розташування пошкоджень на частотні характеристики і розподіл вібрацій-них напружень системи. Крім того, проведено аналіз впливу кристалографіч-ної орієнтації двох видів, неоднорідних температурних полів та пошкоджень на параметри коливань і появу зон локалізації вібраційних напружень. На підставі побудованих моделей аналізуються частотні характеристики та осо-бливості форм переміщень і напружень залежно від розташування та розміру пошкодження.

Як приклад проведених досліджень на мал. 2 наведено власні частоти та форми напружень пакета лопаток без пошкодження та з різним розташуван-ням пошкоджень.



Мал. 2. Поля інтенсивностей напружень і частоти при коливаннях пакета лопаток по 2-й формі без пошкодження (а) та з різним розташуванням тріщини на лівій (б,в,д) і правій (ж) лопатках

Встановлено нові якісні та кількісні залежності впливу пошкоджень на особливості власних частот, форм і локалізацію напружень в складних системах лопаткового апарата.

Достовірність результатів дослідження підтверджено прямим зіставленням результатів чисельних розрахунків власних частот та інтенсивностей деформацій з даними експериментальних досліджень, а також даними, наведеними в літературі, та збіжністю чисельних розрахунків.

На основі результатів дослідження особливостей розподілу інтенсивностей напружень і вібраційної поведінки розглянутих конструкцій лопаткового апарата розроблені практичні рекомендації щодо зниження рівня максимальних напружень. Результати даної роботи можуть бути використані при проектуванні нових та модернізації існуючих лопаткових апаратів на машинобудівних підприємствах.

1. Морозов Е.М., Никишков Г.П. Метод конечных элементов в механике разрушения. – М.: Наука, 1980. – 354 с.
2. Сиратори М, Миесси Т., Мацусита Х. Вычислительная механика разрушения: Пер. с японск. – М.: Мир, 1986. – 334 с.
3. Воробіюв Ю.С., Чугай М.А. Применение сингулярных конечных элементов к исследованию колебаний элементов лопаточного аппарата с повреждениями // Авіаційно - космічна техніка і технологія. – 2009. – 65:8. – С. 69-72.

#### **MATHEMATICAL MODELLING OF BLADING VIBRATIONS WITH ACCOUNT OF CONSTRUCTIONS AND WORKINGS FACTORS, INCLUDING DAMAGE**

*The influence of damages on frequencies spectra and modes of displacements and stresses of blades packets are investigated. Special 3D finite element models are used. The influence of the different depth and location of damages on the vibration characteristics is analyzed.*