

УДК 539.3

## **ОБҐРУНТУВАННЯ ДОСТОВІРНОСТІ РОЗРАХУНКУ МЦНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ З УРАХУВАННЯМ ПОХИБОК ВХІДНИХ ДАНИХ ТА РЕЗУЛЬТАТІВ НЕРУЙНІВНИХ ВИПРОБУВАНЬ**

**Анатолій Дзюба, Володимир Сіренко**

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара,  
Державне підприємство «Конструкторське бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля»*

*dzb@ua.fm, v.n.sirenko@i.ua*

Зниження вартості виведення на орбіту одиниці корисного вантажу є однією з пріоритетних задач ракетно-космічної галузі. Водночас, незважаючи на жорсткі вимоги до якості виконання робіт з проектування, розрахунку і створення тримальних конструкцій нової техніки, на завершальній стадії розробки перевірка їх вірогідності здійснюється шляхом проведення досить високовартісних руйнівних натурних випробувань створюваних фрагментів і (або) усїєї конструкції. Зазначена проблема обумовлена наявністю певної розбіжності результатів розрахунку та руйнівних випробувань, що суттєво підвищує вартість розроблення таких виробів і знижує їх конкурентоздатність на ринку послуг ракетно-космічної техніки.

Подана робота направлена на побудову методики оцінювання вірогідності прогнозування тримальної здатності неоднорідних оболонкових конструкцій сучасного машинобудування, зокрема елементів ракетно-космічної техніки, баків, сухих відсіків ракет-носіїв та ін., з метою відмови від проведення або для зменшення обсягу високовартісних руйнівних випробувань.

Вхідні дані числового аналізу приймаються проектними (ідеальними), в той час як після виготовлення конструкції їх фізично реальні значення (геометричні розміри, значення фізико-механічних характеристик, параметри зовнішніх навантажень, умови закріплення та ін.) можуть мати певні відхилення від прийнятих у розрахунках. Побудована методика моделювання впливу можливих відхилень вхідних даних від своїх номінальних значень на відхилення основних параметрів результатів обчислень.

Реально існуючі вхідні дані (їх відхилення) встановлюються вимірюванням на натурній конструкції. Контроль накопичення похибок числового розрахунку здійснюється шляхом системного інтерактивного комп'ютерного моделювання із залученням елементів теорії чутливості для оцінювання залежності результатів розрахунку від зміни вхідних параметрів та проведення по-

рівняльного аналізу з даними паралельного неруйнівного випробування реального об'єкта (в пружній області) з використанням засобів вимірювання деформацій та напружень або методів голографічної інтерферометрії.

При досягненні гранично припустимих значень напружень пружного неруйнівного деформування, навантаження на реальну конструкцію зупиняється і проводиться порівняння напружень, обчислених за декількома вибраними критеріями, в найбільш небезпечних (де і встановлюються вимірювальні пристрої) точках. За цими результатами обирається критерій з найбільш близькими до даних неруйнівних випробувань показниками.

За наявності неприпустимих відхилень результатів розрахунку та експериментальних даних, проводиться виявлення причин неточностей в розрахунку та внесення відповідних коректив в числове моделювання напружено-деформованого стану конструкцій.

За межами пружності (при нелінійному моделюванні) подальше досягнення критичного стану і віртуального руйнування проводиться лише у вигляді комп'ютерного моделювання.

Таким чином, застосування підходу дозволяє шляхом заміни досить витратних руйнівних випробувань натурних конструкцій на менш витратне, хоча і досить трудомістке, системне комп'ютерне моделювання та використання даних неруйнівного (в пружній області деформування) випробування конструкції, встановити контроль за величиною накопиченої похибки у вигляді кількісних показників відхилень (розкиду) результатів розрахунку від відхилення вхідних даних, та визначити їх граничні допуски, зокрема і тих, які вносяться в конструкцію під час її виготовлення і, як наслідок, в розрахунках не враховані.

Це дозволяє більш достовірно встановити величину критичного (руйнівного) навантаження та загальну картину втрати тримальної здатності за межами пружності, обґрунтувати вибір раціональної величини коефіцієнта запасу міцності, який у цьому випадку буде реально погоджений з отриманими порівняльними результатами з урахуванням похибок розрахункових математичних моделей, числового розрахунку, відхилень вхідних даних та технологій виготовлення конструкції.

Результати досліджень можуть бути використані для внесення коректив у проектні та розрахункові дані з метою підвищення достовірності результатів розрахунку тримальної здатності та зменшення обсягу чи повної відмови від руйнівних випробувань.

#### **JUSTIFICATION OF THE RELIABILITY FOR CALCULATING THE STRENGTH OF SHELL STRUCTURES TAKING INTO ACCOUNT THE ERRORS OF THE INPUT DATA AND THE RESULTS OF NON-DESTRUCTIVE LOADING**

*The methodology for assessing the reliability of the results of predicting the destructive loads of non-uniform shell structures of modern mechanical engineering using the analysis of the sensitivity of the numerical calculation results to the errors of input data and data of non-destructive tests is described.*