

## СЕКЦІЯ 2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В МЕХАНІЦІ І СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ

### МОДЕЛЮВАННЯ ДЕФОРМУВАННЯ КОРПУСНИХ ЕЛЕМЕНТІВ РАКЕТ З НАНОКОМПОЗИТНОГО МАТЕРІАЛУ ПРИ НЕСТАЦІОНАРНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

<sup>1,2</sup>Аврамов К.В., <sup>1,2</sup>Чернобривко М.В., <sup>2</sup>Успенський Б.В., <sup>1,2</sup>Сахно Н.Г.

<sup>1</sup>*Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»,*

<sup>2</sup>*Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного  
НАН України, м. Харків*

Останнім часом у світовому ракетобудуванні все частіше на заміну металам та їх сплавам приходять полімерні композитні матеріали, що армовані вуглецевими нанотрубками, так звані нанокомпозити. Це пов'язано з тим, що в умовах робочих високоінтенсивних навантажень при однаковій вазі нанокомпозити мають значну перевагу над алюмінієвими сплавами за своїми механічними характеристиками міцності. Нанокомпозитні корпусні елементи ракет можуть бути армовані вуглецевими нанотрубками з різним розподілом їх по товщині матриці. В даний час існує п'ять основних типів наноармування, які призводять до виникнення функціонально-градієнтного матеріалу по товщині оболонки [1].

Зазначимо, що для моделювання корпусних елементів ракет застосовуються циліндричні, конічні, сферичні та складені тонкі оболонки. При аналітично-чисельному аналізі їх деформування необхідно враховувати, що класичні оболонкові моделі не дозволяють враховувати зміну властивостей матеріалу по товщині, тому для математичного моделювання потрібно застосувати уточнені розрахункові моделі [2].

Досліджено деформування обтічника ракети під впливом надзвукового газового потоку та корпусу твердопаливного двигуна при навантаженні нестационарним внутрішнім тиском. Задля цього розроблені нелінійні математичні моделі складених оболонок, що враховують функціонально-градієнтні властивості матеріалу. За розробленими моделями запропоновано методики розрахунку параметрів напружено-деформованого стану для зазначених задач. Результати чисельного аналізу порівнювалися з результатами, отриманими за скінченно-елементними тривимірними моделями. Показано, що відносна похибка розрахунків не перевищує п'яти відсотків, що є прийнятним для зазначеного класу задач. При цьому час на проведення чисельних варіативних досліджень значно зменшується.

#### **Література:**

1. Аврамов К.В., Чернобривко М.В., Успенський Б.В. Вільні коливання функціонально-градієнтних наноармованих циліндричних оболонок. *Космічна наука і технологія*. 2019. Т. 25. № 2(117). С. 23-37.

2. Self-sustained vibration of functionally graded carbon nanotubes reinforced composite cylindrical shell in supersonic flow / K.V. Avramov, M. Chernobryvko, B. Uspensky, K.K. Seitkazenova, D. Myrzaliyev // *Nonlinear Dynamics*. 2019.–№ 98(3). – P. 1853-1876. DOI 10.1007/s11071-019-05292-z.