УДК 620.22 : 620.3 : 629.7
DOI:10.62717/3083-7057-2026-1-152

Гура Б.В.,
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
E-mail:gura.bogdan.v@gmail.com

Носова Т.В.,
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
ORCID 0009-0009-1591-8811
E-mail:nosova_t@365.dnu.edu.ua

Мамчур С.І.,
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
ORCID 0009-0004-1600-6068
E-mail:mamchur_s@365.dnu.edu.ua

ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВУЗЛІВ

Анотація. Сучасний етап освоєння космічного простору ставить перед ракетобудуванням критичний виклик щодо радикального зниження маси конструкцій. Водночас необхідно забезпечити високу механічну міцність та функціональну стійкість матеріалів до екстремальних умов. Оскільки потенціал традиційних сплавів та композитів поступово вичерпується, це обмежує можливості виведення корисного навантаження та дальність міжпланетних місій.
Ключові слова: Сонячні вітрила, нано трубки, властивості.

B. Hura,
Oles Honchar Dnipro National University
E-mail:gura.bogdan.v@gmail.com

T. Nosova,
Oles Honchar Dnipro National University
ORCID 0009-0009-1591-8811
E-mail:nosova_t@365.dnu.edu.ua

S. Mamchur,
Oles Honchar Dnipro National University
ORCID 0009-0004-1600-6068
E-mail:mamchur_s@365.dnu.edu.ua

ASSESSMENT OF THE TECHNICAL CONDITION OF NODES

Annotation. The current stage of space exploration presents a critical challenge for rocket engineering regarding the necessity of radically reducing structural mass. At

the same time, these designs must offer increased mechanical strength and functional resilience to extreme conditions. Since traditional metal alloys and standard polymer composites are reaching their optimization limits, payload capacity and the range of interplanetary missions remain restricted.
Keywords: Solar sail, nano tubes, Properties.

Дослідження спрямоване на подолання технологічних бар'єрів шляхом використання вуглецевих нанотрубок (ВНТ) як армувального агента для полімерних матриць. Завдяки унікальним властивостям ВНТ — надвисокому модулю пружності, низькій густині та високій провідності — відкривається можливість створення конструкційних матеріалів нового покоління. Застосування методів молекулярної динаміки дозволяє прогнозувати поведінку нанокомпозитів на мікрорівні та проєктувати матеріали із заданими характеристиками. Актуальність роботи зумовлена потребою у високоміцних матеріалах для критичних навантажень: від корпусів ракет-носіїв до сонячних вітрил, де питома міцність є визначальним фактором реалізації концепції.

Метою даної роботи є системний аналіз та узагальнення результатів сучасних досліджень щодо впливу вуглецевих нанотрубок на фізико-механічні та термічні властивості полімерних композитів аерокосмічного призначення. У межах проведеного аналізу висувається гіпотеза про те, що ефективність застосування нанокомпозитів у критичних вузлах ракетної техніки, таких як сопла двигунів та паливні баки, лімітується не стільки властивостями самих нанотрубок, скільки якістю міжфазної взаємодії та гомогенністю їхнього розподілу в матриці.

У роботі досліджено вплив вуглецевих нанотрубок (ВНТ) на фізико-механічні й термічні властивості аерокосмічних полімерних композитів. Робота фокусується на використанні ВНТ як армувального агента для оптимізації ваги космічних конструкцій, зокрема із застосуванням методів молекулярної динаміки для прогнозування властивостей матеріалів на мікрорівні. Проаналізовано технології порошкової металургії для інтеграції багатостінних ВНТ та часток алмазу в матрицю NARloy-Z.

Підвищення ефективності згоряння вимагає більш високих температур і тиску згоряння, які, як правило, обмежуються конструкцією двигуна. Вкладиші камери згоряння ракетних двигунів на рідкому паливі охолоджуються регенеративним способом для підтримки високого теплового потоку. Розробники спробували вдосконалити вкладиші камери згоряння в ракетних двигунах на рідкому паливі за допомогою нанотехнологій. Їхній підхід полягав у вбудовуванні багатостінних вуглецевих нанотрубок (MWCNT) з високою теплопровідністю та частинок алмазу (D) у матрицю NARloy-Z за допомогою методів порошкової металургії [2]. Ця спроба не була успішною, і причиною цього стало використання MWCNT з низькою теплопровідністю. Це застосування відкриває можливості для зменшення маси системи та підвищення ефективності двигунів для більшості місій, що використовують хімічну тягу. Оскільки зараз доступні CNT з вищою

теплопровідністю, це застосування, можливо, варто переглянути. Нове дослідження може вивчити можливість використання гібридних матеріалів для зменшення маси та підвищення ефективності двигуна [1].

Сонячні вітрила є космічними апаратами, рух яких забезпечується тиском сонячного випромінювання без використання ракетних двигунів. Конструкції шириною в кілька метрів виготовляються з ультратонких матеріалів із високим коефіцієнтом відбиття, зокрема з алюмінізованого каптону. Успішна експлуатація технології була продемонстрована місією наносупутника Nanosail-D на низькій навколоземній орбіті. Подальший розвиток напряму пов'язаний із проєктом NEA Scout, призначеним для виконання розвідувального прольоту повз астероїд. Ефективність сонячних вітрил вимірюється за прискоренням космічного апарата, яке обернено пропорційне площі вітрила[3]. Традиційні вітрила складаються з відбиваючого шару, що поглинає сонячний тиск, та шару, що випромінює тепло для підтримки температури вітрила на робочому рівні. Алюмінізований майлар та каптон — це матеріали, доступні у продажу, з площею 7 г/м². Мембрани з вуглецевих нанотрубок можуть використовуватися як одношаровий шар, здатний відбивати та випромінювати тепло[4]. Листи з нанотрубок повинні бути настільки тонкими, щоб квадратний кілометр сонячного вітрила важив лише 27 кілограмів (0,027 г/м²)[5].

Впровадження вуглецевих нанотрубок (ВНТ) є стратегічним чинником радикального зниження маси та підвищення міцності космічних конструкцій. Унікальні властивості ВНТ дозволяють створювати матеріали нового покоління, проте їхня ефективність у критичних вузлах обмежена якістю міжфазної взаємодії та гомогенністю розподілу в матриці. Поява сучасних ВНТ із високою теплопровідністю дозволяє переглянути технології модернізації вкладишів камер згоряння. Особливо перспективними є ВНТ-мембрани для сонячних вітрил із питомою масою 0,027 г/м², що є вирішальним для міжпланетних місій. Отже, інтеграція нанотехнологій є ключовою для подальшого освоєння космосу.

Бібліографічні посилання

1. Siddiqui R., Anwar A., Khan N. A. Health Effects of Spaceflight-Induced Changes in the Gastrointestinal Microbiota. Life. 2019. Vol. 9, № 2. P. 44. URL: *https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6628683/*
2. Risk of Adverse Health Effects Due to Alterations in the Gastrointestinal Microbiota : Evidence Report / G. L. Douglas, C. M. Ott, A. A. Voorhies et al. Houston, Texas : National Aeronautics and Space Administration, Lyndon B. Johnson Space Center, 2013. 41 p. (NASA/TP-2013-217377). URL: *https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20130014165/downloads/20130014165.pdf*
3. Bolonkin AA, Non-Rocket Space Launch and Flight, Elsevier, 2006
4. Santoli Salvatore, “Carbon Nanotube Membrane Solar Sails: A Challenge for Extremely Fast Space Flight,” “Carbon Nanotubes”, book edited by

Marulanda Jose Mauricio, ISBN 978–953-307–054-4, March 2010, pp. 591–610.

5. Dong W., Zhou L., Wu J. Biocompatible MoS2 quantum dots for photocatalytic cancer therapy. Nanoscale. 2016. Vol. 8, № 6. P. 3201–3210. DOI: *https://doi.org/10.1039/c5nr07855e*