

УДК 531.39

А.П. АЛПАТОВ

Інститут технічної механіки Національної академії наук України та Державного космічного агентства України
вул. Лешко-Попеля, 15, Дніпропетровськ, 49005, Україна

ДИНАМІКА ПЕРСПЕКТИВНИХ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ

За матеріалами наукового повідомлення на засіданні Президії НАН України
29 травня 2013 року

Переважаюча кількість перспективних космічних апаратів за своєю механічною суттю є просторово розвиненими механічними системами змінюваної конфігурації. Методи дослідження їх динаміки можна виокремити як розділ динаміки системи твердих тіл, з'єднаних пружними утримуючими і неутримуючими зв'язками, що рухаються під дією зовнішніх сил. Представниками таких систем є так звані великі космічні конструкції, які призначені для роботи в космосі в умовах, близьких до невагомості, і мають значні розміри в тому чи іншому вимірі. Моделі їх динаміки зазвичай представлені системами диференціальних рівнянь руху, а під математичним моделюванням розуміють чисельне розв'язання цих рівнянь або аналітичні інтерпретації можливих рішень. Особливості дослідження динаміки таких космічних конструкцій і систем розглянуто в доповіді.

Ключові слова: динаміка, моделювання, великі космічні конструкції, орієнтація, керування, стійкість.

У доповіді представлено результати дослідження динаміки великих космічних конструкцій, які є перспективними в контексті сучасних тенденцій розвитку космічної техніки і нових фундаментальних і прикладних проблем космонавтики. Наведено також деякі результати досліджень динаміки сучасних космічних апаратів (КА), розроблених в Україні.

СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ

Відомі підходи до дослідження динаміки КА пов'язані з тенденціями розвитку і практичного використання космічної техніки під час вирішення завдань дистанційного зондування Землі, зв'язку, навігації, наукових досліджень з вивчення космічного простору [1–12]. Особливості моделей динаміки зумовлені специфікою розв'язуваних космічними апаратами завдань.

На українсько-російському КА «Океан-О», запуск якого відбувся 17 липня 1999 р., через помилку в алгоритмі розвантаження маховиків системи орієнтації спостерігалася нестабільність орієнтації КА. У цій ситуації було запропоновано алгоритми керування орієнтацією КА за допомогою програмних розворотів сонячної батареї [1]. Реалізація цих алгоритмів сприяла експлуатації супутника до квітня 2002 р.

Метою КА «Січ-1М» була демонстрація можливостей всепогодного спостереження земної і водної поверхонь з передаванням інформації (вперше в світі) на світову наземну мережу приймальних станцій у всіх трьох традиційних діапазонах — 137, 1,7 і 8,2 ГГц, в яких і передається інформація від космічних апаратів дистанційного зондування Землі. Успішна реалізація цього проекту дозволяла Україні ініціювати створення міжнародної всепогодної метеорологічної системи з 3–4 таких КА. Іншим важливим завданням

супутника «Січ-1М» було забезпечення експерименту «Варіант» — дослідження провідників землетрусів. На жаль, через нестабільну орієнтацію КА внаслідок виведення його на невірну орбіту ефективність роботи космічного апарата була значно знижена [6]. Було досліджено закономірності відносного руху КА «Січ-1М», розгінного блока ракетноносія та КА «Мікросупутник» для оцінювання можливості їх зіткнень, які могли стати причиною обертання КА «Січ-1М» відносно центра мас із незрозуміло великою кутовою швидкістю. Космічний апарат «Мікросупутник» був призначений для відпрацювання негерметичної конструкції з модульним варіантом бортових систем і використанням композиційних матеріалів.

Для українського малогабаритного космічного апарата дистанційного зондування Землі «Січ-2» у КБ «Південне» та ІТМ НАН України і ДКА України розроблено загальну модель для розрахунку положення й аналізу швидкості зсуву оптичного зображення під час зйомки земної поверхні, а також розраховано сумарні граничні похибки визначення географічних координат об'єкта на знімках поверхні Землі. КА «Січ-2» призначений для спостереження поверхні Землі в оптичному і середньому інфрачервоному діапазонах. До складу корисного навантаження КА включено також комплекс наукової апаратури, призначеної для дослідження атмосфери Землі.

Проект «Мікросат» передбачає створення першого українського КА наукового призначення з метою забезпечення проведення технологічних і наукових експериментів в умовах космічного простору. КБ «Південне» на замовлення Державного космічного агентства України розробляє КА «Мікросат». Варіант його компоновання (рис. 1) передбачає встановлення апаратури корисного навантаження на чотирьох симетрично розташованих виносних штангах апарата. Завдяки конструктивним особливостям штанг їх розподілена пружність може чинити істотний вплив на кутове положення апаратури.

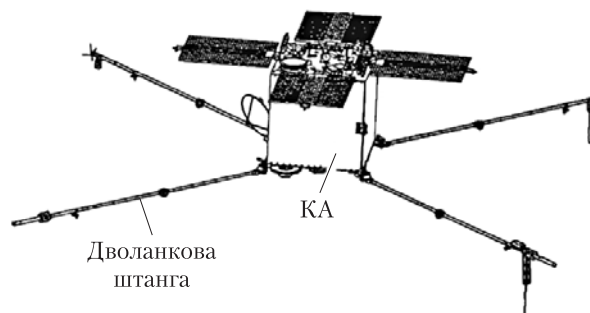


Рис. 1. Космічний апарат з виносними штангами

Параметри розрахункових схем штанг, що мають вигляд балки з розподіленою пружністю, можна визначити різними методами. Адекватність таких уявлень, так само як і адекватність відповідних комп'ютерних моделей, потребує підтвердження. З цією метою доцільно використовувати аналітичні рівняння кутового руху КА з виносними штангами, які можна отримати для ідеалізованих розрахункових схем із симетрично розташованими пружними штангами. Було розглянуто й вирішено такі завдання:

- вибір ідеалізованих розрахункових схем (рис. 2) і адаптація відомих аналітично отриманих наближених рівнянь кутового руху КА для розглянутого випадку;

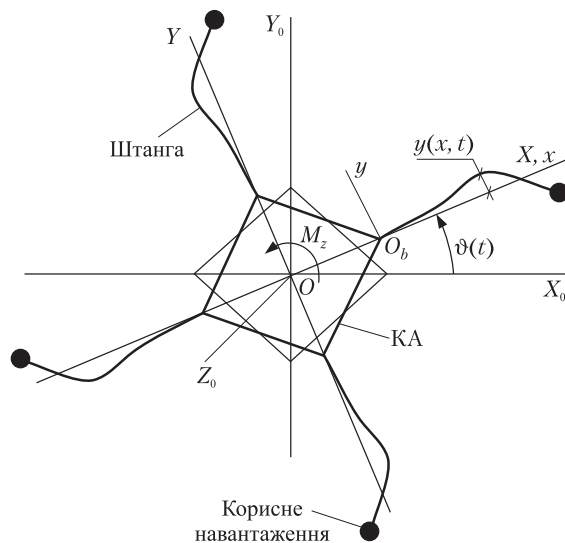


Рис. 2. Ідеалізована розрахункова схема

- підбір параметрів скінченновимірного представлення штанг із розподіленою пружністю;
- розроблення комп'ютерних моделей з використанням засобів візуального програмування;
- проведення тестових розрахунків для підтвердження адекватності комп'ютерних моделей.

Розроблені комп'ютерні моделі описують кутовий рух КА з виносними штангами в площині його нижньої грані за відомого керуючого моменту і дають змогу досліджувати нестабільність кутового положення встановленої на штангах апаратури корисного навантаження.

Космічний телескоп «Міліметрон» — еволюційний крок у розробленні космічних обсерваторій, прототипом яких є антена обсерваторії «Радіоастрон», створена міжнародною кооперацією з Астрокосмічним центром ФІАН (Росія) як головною науковою організацією. Наукові завдання обсерваторії «Міліметрон» зумовили перехід на коротший хвильовий діапазон частот і необхідність забезпечення вищої кутової роздільної здатності. Високі вимоги до точності орієнтації визначили необхідність нових підходів до розроблення інтелектуальної системи активного віброзахисту і високоточного наведення (ІСАВВН) космічного телескопа (КТ) «Міліметрон», що розкривається на орбіті. Заплановано участь ІТМ НАН України і ДКА України в розробленні й дослідженні кінематичної та динамічної моделей ІСАВВН КТ «Міліметрон», що охоплюють створення розрахункових схем механізму паралельної структури, яку встановлюють між космічною платформою й антеною КТ, розроблення кінематичних і динамічних моделей, а також проведення досліджень, пов'язаних з аналізом процесів керування орієнтацією антени телескопа.

ДИНАМІКА КОСМІЧНИХ ТРОСОВИХ СИСТЕМ

Космічні тросові системи (КТС) є перспективним напрямом розвитку космічної техніки і відповідних технологій. У багатьох

країнах світу сьогодні розглядають проекти використання КТС. Різноманітні за призначенням, вони спрямовані на поліпшення роботи як мікросупутників і традиційних КА, так і міжнародної космічної станції та космічних кораблів для міжпланетних перельотів. Реалізація проектів КТС передбачає отримання відповідного економічного ефекту і нових наукових знань [13–24].

Аналіз динамічних особливостей КТС, стабілізованих обертанням [17–20], дозволив запропонувати проект малої автономної КТС для експериментальних орбітальних досліджень процесів розгортання і функціонування КТС. Таку КТС можна використовувати для дослідження фізики космічної плазми і фізики високої атмосфери й магнітосфери. Особливий інтерес становить застосування цієї КТС як інтегрального датчика для досліджень полів Землі. Мала обертальна КТС може бути еталоном довжини для калібрування й вимірювань характеристик бортових і наземних оптичних та радіолокаційних систем [20, 25].

Розроблено схему тросової системи гравітаційної стабілізації супутника [19, 24], де замість традиційної жорсткої штанги використано тонкий трос, що дає можливість технологічно досить просто збільшити відстань між супутником і кінцевою масою до кількох кілометрів, збільшуючи тим самим відновлювальний момент гравітаційних сил. Для практичного використання результатів дослідження оцінено вплив конструктивних параметрів системи на тривалість перехідних процесів, зокрема оцінки впливу неточності визначення параметрів. Побудовано моделі і проведено оцінювання впливу на точність стабілізації кутового руху супутника з тросовою системою гравітаційної стабілізації різних збурювальних факторів, у тому числі аеродинамічних, електромагнітних, сонячного тиску, відхилення орбіти від колової.

Досліджено можливості використання резонансних режимів для керування рухом КТС. Показано й оцінено можливості спрямованої зміни орієнтації та швидкості обертання КТС, параметрів її орбітального руху

внаслідок резонансної зміни довжини нитки [11, 15].

Запропоновано нові проекти КТС. Проект, призначений для переведення корисного навантаження на вищі орбіти, ґрунтується на розгойдуванні системи в гравітаційному полі шляхом зміни моменту інерції системи. Проект, призначений для керування орбітальним рухом системи, оснований на перерозподілі кінетичного моменту між орбітальним і відносним рухом.

Розроблено схеми підготовки і проведення орбітальних експериментів. Визначено склад апаратури та вимоги до вимірювань і спостережень. Розроблено методики та проведено серії наземних експериментальних досліджень процесів розгортання й функціонування КТС [19]. У результаті цих досліджень отримано низку методик для вибору параметрів такої тросової системи. Роботи як за планом фундаментальних досліджень НАН України, так і в рамках міжнародних проектів INTAS-94-0644 «Experimental and computational analysis of tethered space systems» і INTAS-99-01096 «Theoretical and experimental investigation of multibody space systems connected by hinges and tethers» проводили науковці з ІТМ НАН України і НКА України (проф. А.П. Алпатов, д.ф.-м.н. О.В. Пироженко), КБ «Південне» (чл.-кор. НАН України В.Й. Драновський, проф. В.С. Хорошилов), ІМех НАН України (д.т.н. О.Є. Закржевський), ІПМ РАН (чл.-кор. РАН В.В. Білецький), Віденського технологічного (проф. Г. Трогер), Штутгартського (проф. В. Шехлен) та Карслруйського університетів (проф. Й. Вітенбург).

ВЕЛИКОГАБАРИТНІ ТРАНСФОРМОВНІ КОНСТРУКЦІЇ КОСМІЧНОГО БАЗУВАННЯ

Наприкінці 90-х років було проведено наукові дослідження, спрямовані на розвиток в Україні космічної геліоенергетики — сукупності методів і технічних засобів збирання, перетворення та використання споживачем енергії сонячної радіації оптичного діапазону в космічному просторі. Досліджували

задачі динаміки, що виникають у процесі розгортання КТС, створення систем керування орбітальним положенням, орієнтацією і формою поверхні елементів космічних геліоенергетичних систем. У результаті аналізу виокремлено низку актуальних напрямів робіт у цій галузі [4, 8, 26–30]:

- розроблення методів розрахунку орбітальних переходів і алгоритмів корекції орбітального положення з використанням сил тиску сонячного випромінювання й електрореактивних двигунів та методів вибору розподілу виконавчих органів систем керування орбітальним положенням на великогабаритних пружних конструкціях, що забезпечує мінімальні силові навантаження і коливання;

- створення ефективних способів керування орієнтацією і кутової стабілізації пружних великогабаритних конструкцій;

- розроблення пасивних і активних варіантів компенсації спотворення форми поверхні протяжних космічних конструкцій, методів розподілу датчиків спотворення форми, виконавчих органів і алгоритмів корекції форми поверхні;

- створення виконавчих органів систем керування для великогабаритних космічних конструкцій (електрореактивні двигуни, гіродіни, відбивачі сонячного випромінювання).

Важливе значення має вирішення завдань експериментальних досліджень у галузі створення космічних геліоенергетичних систем. Сформульовано завдання проведення наземних експериментів, досліджень на борту орбітальної космічної станції і таких, що пов'язані з проведенням модельних і масштабних демонстраційних експериментів [12].

Великі відбивні поверхні — функціонально необхідний елемент перспективних космічних систем. Потреба в поліпшенні технічних характеристик великогабаритних космічних рефлекторів, плівкових відбивачів визначається розвитком супутникового зв'язку, радіоастрономії, геліоенергетики, завданнями вивчення Місяця і планет Сонячної системи, дослідження далекого космосу [4].

В Інституті технічної механіки у співпраці з фахівцями Інституту космічних споруд (Грузія) проведено дослідження різних аспектів функціонування трансформованих космічних рефлекторів. Для конструкції пелюсткового космічного радіотелескопа, подібної до розгорнутої в липні 1999 р. на станції «Мир» у ході експерименту «Рефлектор», розраховували щільність теплових потоків на елементи конструкції, температурне поле конструкції для різних положень рефлектора на орбіті, теплові деформації елементів конструкції.

Проводили також дослідження процесів формоутворення вантових великогабаритних трансформованих космічних рефлекторів [4, 29]. Запропоновано підхід до дослідження процесів формоутворення, що ґрунтується на декомпозиції механічної системи і виділенні незалежних модулів – формоутворювальних елементів. Аналіз особливостей конструкції з урахуванням результатів імітаційного моделювання динаміки дав змогу визначити умови обґрунтованої застосовності квазістатичної постановки задачі. Розроблено дискретні й континуальні моделі формоутворення, запропоновано алгоритми керування формою відбивної поверхні, розглянуто варіанти їх технічної реалізації. Ефективність розроблених моделей і алгоритмів підтверджена порівняльним аналізом результатів комп'ютерного моделювання.

На основі методів рухомого керування, раніше розвинених автором [1], продовжено дослідження проблеми рухомого керування великими космічними конструкціями з використанням тиску сонячного випромінювання [12, 27].

Запропоновано новий підхід до математичного опису динаміки великої космічної конструкції як деформівного тіла [29], введено поняття кінематичних параметрів стосовно руху деформівного тіла і враховано кінцеву швидкість поширення механічної взаємодії. Тривимірну модель динаміки замінено еквівалентною чотирирівимірною моделлю статички, для якої отримані рівняння рівноваги сил і моментів.

ДИНАМІКА КОСМІЧНИХ МАНІПУЛЯТОРІВ

Дослідження динаміки космічних апаратів з маніпуляційними системами розпочалися в 80-ті роки ХХ ст. у межах фундаментальних науково-дослідних робіт. Подальшого розвитку ці роботи набули під час відпрацювання транспортного космічного маніпулятора (система «Буран») у рамках контрактів з НВО «Енергія» і ЦНДІ РТК. Нині, з огляду на нові задачі, крім транспортних завдань із переміщення корисних вантажів актуальними стають нові проблеми, пов'язані зі збиранням конструкцій у космосі, сервісним обслуговуванням космічних апаратів, боротьбою з космічним сміттям. При цьому необхідність автоматизації монтажних-сервісних операцій слід вважати одним із факторів, що визначають у найближчій перспективі тенденції розвитку космічних маніпуляторів. Це припущення ґрунтується на аналізі напрямів технічного вдосконалення наявних маніпуляційних систем, складі проведених і запланованих космічних експериментів і дослідницьких програм [2, 3]. Отже, актуальність подальших досліджень у галузі динаміки бортових маніпуляторів космічних апаратів визначається такими факторами:

- універсальність і різноманіття завдань для маніпуляційних систем, наприклад збирання на орбіті;
- виникнення нових завдань, таких як сервісне обслуговування КА на орбіті;
- поява проблеми виведення з орбіт фрагментів космічної техніки.

Космічні маніпуляційні системи як об'єкти керування мають низку специфічних особливостей: рухливість основи маніпулятора (космічного апарата) в інерціальному просторі; відносно мала маса маніпуляційного механізму; мала потужність двигунів приводів ступенів рухливості; наявність нелінійностей (люфти механічних передач, характеристики приводу); пружна податливість ланок і редукторів.

Наведені ознаки надають космічним маніпуляційним системам унікальності з погляду дослідження динаміки. Під час вибору

розрахункових схем звертають увагу також на можливості сучасних комп'ютерних засобів, зокрема особливості пакетів моделювання динаміки систем тіл, які значно полегшують процес отримання рівнянь руху складних систем, але для врахування пружних властивостей елементів конструкції потребують використання спеціальних прийомів. Слід відзначити також необхідність врахування особливостей моделювання різних режимів руху маніпулятора, наприклад транспортних для переміщення корисного вантажу і контактних-силових під час виконання монтажних-сервісних операцій.

У результаті проведених досліджень впливу пружної податливості елементів конструкції бортового маніпулятора космічного апарата на динаміку маніпулювання отримано низку цікавих результатів, що мають прикладне значення. Сформовано методичні підходи, які можна використати в дослідженнях перспективних космічних маніпуляційних систем різного призначення [2–8]. Зокрема, продемонстровано ефективність поетапного підходу до побудови ієрархічної сукупності математичних моделей динаміки [6], запропоновано методику синтезу виконавчої системи керування, основану на використанні для попереднього вибору структури й параметрів регулятора досить простих математичних моделей з подальшим аналізом обґрунтованості прийнятих спрощувальних припущень. Сформульовано поняття опорної конфігурації, що дало змогу застосувати для синтезу виконавчої системи керування метод «заморожених» параметрів без апіорного визначення опорної траєкторії.

Розроблено методику синтезу оптимального керування рухом космічної маніпуляційної системи. Використаний критерій оптимальності задовольняє вимогу мінімізації відхилень узагальнених координат, у тому числі зумовлених пружними відхиленнями. Основну проблему синтезу — призначення великої кількості параметрів функціоналу якості, зведено до підбору мінімальної кількості параметрів. Запропонована мето-

дика синтезу програмних рухів ураховує, що за наявності пружних відхилень конструкції маніпулятора вибір темпу руху вантажу, який переноситься, є природним етапом синтезу рухів. Сформульовано закон руху вантажу, який забезпечує плавність зміни швидкості й прискорення вантажу і спрощує процедуру синтезу.

Сьогодні дослідження ІТМ НАН України і ДКА України в галузі динаміки космічних маніпуляційних систем зосереджено на розробленні моделей і алгоритмів керування рухом за наявності контактної взаємодії маніпулятора й об'єкта маніпулювання, що властиво монтажним-сервісним операціям та операціям захоплення об'єкта, наприклад космічного сміття.

СИСТЕМИ ЗАПОБІГАННЯ ЗАСМІЧЕННЮ Й ОЧИЩЕННЯ НАВКОЛОЗЕМНОГО КОСМІЧНОГО ПРОСТОРУ

Нині відомо дві концепції, розроблені Міжагенційним комітетом з космічного сміття (Inter-Agency Space Debris Coordination Committee). Перша полягає в тому, що об'єкти космічної техніки, які відпрацювали свій термін, слід виводити з робочих орбіт не пізніше ніж через 25 років, причому вже сьогодні ця цифра може бути зменшена. Це означає, що КА мають бути забезпечені відповідними системами виведення. Друга концепція основана на потребі очищення навколоземного простору від існуючих фрагментів космічного сміття.

Спільно з КБ «Південне» в ІТМ НАН України і ДКА України розпочато роботу над створенням двох систем виведення третього ступеня РН «Циклон-4». Одна з них ґрунтується на використанні надувних елементів, а друга — на застосуванні електродинамічної космічної тросової системи.

Розпочато також роботу за проектом 7-ї Європейської рамкової програми у великій міжнародній кооперації над проектом LEOSWEEP, головним завданням якого є створення орбітального космічного апарата для виведення з низьких орбіт великих фрагментів космічного сміття.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Алпатов А.П.* Подвижное управление механическими системами. — К.: Наук. думка, 1998. — 246 с.
2. *Алпатов А.П., Белоножко П.А., Белоножко П.П. и др.* Тенденции развития космических манипуляционных систем // Информационные технологии в управлении сложными системами: сб. докл. науч. конф. — Днепропетровск, 2011. — С. 176–180.
3. *Алпатов А.П., Белоножко П.А., Белоножко П.П. и др.* Перспективы использования и особенности исследования динамики космических манипуляторов с упругими конструктивными элементами // Техническая механика. — 2012. — № 1. — С. 82–93.
4. *Алпатов А.П., Белоножко П.А., Белоножко П.П. и др.* Актуальные задачи динамики космических аппаратов с пространственно развитыми периферийными элементами // Техническая механика. — 2007. — № 2. — С. 32–38.
5. *Алпатов А.П., Белоножко П.А., Белоножко П.П. и др.* Особенности синтеза системы управления космическим манипулятором // Актуальные проблемы авиационных и аэрокосмических систем. — 2010. — Т. 15, № 2(31). — С. 38–57.
6. *Маслова А.И., Пироженко А.В.* К моделированию аэродинамического момента, действующего на спутник // Космические исследования. — 2010. — Т. 48, № 4. — С. 371–379.
7. *Алпатов А.П., Белоножко П.А., Горбуницов В.В. и др.* Динамика пространственно развитых механических систем изменяемой конфигурации. — К.: Наук. думка, 1990. — 256 с.
8. *Алпатов А.П., Белоножко П.А., Белоножко П.П. и др.* Особенности моделирования динамики сложных авиационных и космических систем // Тр. XXXVI акад. чтений по космонавтике. — М., 2012. — С. 470–471.
9. *Алпатов А.П.* Развитие методологии системного анализа проблем космической отрасли, исследование динамики объектов ракетно-космической техники // Техническая механика. — 2008. — № 2. — С. 139–154.
10. *Алпатов А.П., Белоножко П.А., Пироженко А.В. и др.* Динамика и управление движением сложных механических систем // Техническая механика. — 2001. — № 2. — С. 110–121.
11. *Alpatov A.P., Beletsky V.V., Dranovskii V.I. et al.* Dynamics of tethered space systems. — CRC Press, 2010. — ISBN 978-1-4398-3685-9.
12. *Алпатов А.П., Хорошилов С.В.* Анализ способов управления ориентацией космической солнечной электростанции // Техническая механика. — 2005. — № 1. — С. 3–12.
13. *Алпатов А.П., Белецкий В.В., Драновский В.И. и др.* Динамика космических систем с тросовыми и шарнирными соединениями. — М.-Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2007. — 560 с.
14. *Алпатов А.П., Белецкий В.В., Драновский В.И. и др.* Ротационное движение космических тросовых систем. — Днепропетровск-Вена-К.-М.: ИТМ НАНУ и НКАУ, 2001. — 404 с.
15. *Пироженко А.В.* Управление движением связки двух тел в гравитационном поле изменением длины связи // Космические исследования. — 1990. — Т. 30, № 4 — С. 473–482.
16. *Алпатов А.П., Белоножко П.А., Пироженко А.В., Шабохин В.А.* Об эволюции ротационного движения связки двух тел на орбите // Космические исследования. — 1990. — Т. 28, № 5. — С. 692–701.
17. *Алпатов А.П., Драновский В.И., Загржевский А.Е. и др.* Космические тросовые системы. Обзор проблемы // Космічна наука і технологія. — 1997. — Т. 3, № 5/6. — С. 21–29.
18. *Алпатов А.П., Белецкий В.В., Драновский В.И. и др.* Динамика малых космических тросовых систем, стабилизированных вращением // Техническая механика. — 2001. — № 1. — С. 85–100.
19. *Алпатов А.П., Пироженко А.В.* Теоретические и экспериментальные исследования космических тросовых систем // Космічні дослідження в Україні 2002–2004. — С. 85–90.
20. *Алпатов А.П., Белоножко П.А., Пироженко А.В.* Экспериментальное определение кинематических параметров тел при их отделении толкателем // Техническая механика. — 1998. — № 8. — С. 33–44.
21. *Алпатов А.П., Гусинин В.П., Мищенко А.В., Пироженко А.В.* Исследования на наноспутниках взаимодействия электродинамической тросовой системы с ионосферной плазмой // Вісн. Черкаського держ. технолог. ун-ту. — 2007. — Спецвипуск. — С. 154–157.
22. *Алпатов А.П., Гребенкин Ф.Н., Мищенко А.В., Пироженко А.В.* Электродинамическая тросовая система увода космических аппаратов с орбит. Постановка задач исследований на наноспутниках // Вісн. ДНУ. — 2006. — № 2/2. — С. 5–10.
23. *Alpatov A.P., Khoroshilov V.S., Pirozhenko A.V., Voloshenjuk O.L.* Study of the basic variables of a cable-tether system intended as an electromechanical linkage between space vehicles // Космічна наука і технологія. — 2000. — Т. 6, № 4. — С. 129–131.
24. *Пироженко А.В., Храмов Д.А.* Тросовая система гравитационной стабилизации спутников // Космические исследования. — 2010. — Т. 48, № 6. — С. 557–564.
25. *Alpatov A., Dranovskii V., Khoroshilov V. et al.* Research of dynamics of space cable systems stabilized by rotation // 48th Int. Astronaut. Congr. (1997, Turin, Italy). — Turin, 1997. — A. 2.10. — P. 11.

26. *Алпатов А.П., Белоножко П.А., Белоножко П.П. и др.* Большие отражающие поверхности в космосе // Системні технології. — 2007. — Вип. 3(50). — С. 73–87.
27. *Алпатов А.П., Науменко Р.Н., Салтыков Ю.Д. и др.* Минимизация момента солнечного давления в задачах ориентации космического аппарата // Техническая механика. — 1998. — № 7. — С. 27–33.
28. *Алпатов А.П., Науменко Р.Н.* Оптимизация конструкции геостационарного космического аппарата, содержащего два элемента большой парусности // Космічна наука і технологія. — 1997. — Т. 3, № 5/6. — С. 43–46.
29. *Alpatov A.P., Delamoure V.P., Khramov D.A., Belonozhko P.P.* «Dynamics» Experiment. Check of adequacy of mathematical models of the highly deformable low-elastic large-area surfaces under microgravity // Космічна наука і технологія. — 2000. — Т. 6, № 4. — С. 132.
30. *Dranovskiy V., Khoroshylov V., Saltikov U. et al.* Compensation of heat deformations of extended space constructions // 49th IAF Int. Astronaut. Congr. — Bremen: 1998. — P. 24.

А.П. Алпатов

Институт технической механики
НАН Украины и ГКА Украины
ул. Лешко-Попеля, 15, Днепропетровск,
49005, Украина

ДИНАМИКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Значительное количество перспективных космических аппаратов по своей механической сути являются пространственно развитыми механическими системами изменяемой конфигурации. Методы исследования их динамики могут быть выделены как раздел динамики системы твердых тел, соединенных упругими удерживающими и недерживающими связями, движущихся под действием внешних сил. Необходимость выделения такого класса систем связана как с тем, что им присуще нечто общее, отличающее их от всех других в формализмах исследования динамики, так и с тем, что результаты развития теории их движения могут быть приложены к ряду технических систем, характеризующихся сходными конструктивными признака-

ми и областями применения. Естественными и очевидными представителями таких систем являются так называемые большие космические конструкции, предназначенные для работы в космосе в условиях, близких к невесомости, и имеющие большие размеры в том или ином измерении. Модели их динамики обычно представлены системами дифференциальных уравнений движения, а под математическим моделированием понимают численное решение этих уравнений или аналитические интерпретации возможных решений. Особенности исследования динамики таких космических конструкций и систем представлены в докладе.

Ключевые слова: динамика, моделирование, большие космические конструкции, ориентация, управление, устойчивость.

A.P. Alpatov

Institute of Technical Mechanics
of the National Academy of Sciences of Ukraine
and the State Space Agency of Ukraine
15 Leshko-Popel St., Dnipropetrovsk, 49005, Ukraine

DYNAMICS OF ADVANCED SPACECRAFTS

A significant amount of future spacecrafts are spatially developed mechanical systems of variable configuration. Methods of their dynamics study can be highlighted as the part of dynamics of rigid bodies connected by various constraints moving under the influence of external forces. Need for the provision of such class of systems is due both to the fact that it is something inherent in common, which distinguishes them from all other formalisms to study dynamics and the fact that the results of the theory of motion can be applied to a variety of technical systems with a similar design features and areas of application. Natural and obvious representatives of such systems are large space structures designed for use in space. Models of their dynamics are usually represented by systems of differential equations of motion, and the numerical solution of these equations or analytical interpretation of possible solutions are understood as mathematical modeling. Features of such space structures and systems dynamics study are presented in the paper.

Keywords: dynamics, modeling, large space structures, orientation, control, stability.