

УДК 621

О. В. Пилипенко

Інститут технічної механіки Національної академії наук України
та Державного космічного агентства України, Дніпропетровськ

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ТА НАУКОВО-МЕТОДИЧНИЙ СУПРОВІД РОЗРОБКИ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ

Наведено результати з науково-технічного та науково-методичного супроводу науково-дослідних і проектно-конструкторських робіт зі створення та експлуатації ракетно-космічної техніки. Серед них подовження стійкості рідинних ракет-носіїв космічних апаратів, супровід розробки космічного ракетного комплексу «Циклон-4», взаємодія космічних апаратів з іоносферою, аерогазодинамічні і теплові характеристики космічних апаратів на етапі їхнього входження у верхні шари атмосфери Землі, аерогазодинаміка та тепломасообмін літальних апаратів, міцність і стійкість елементів конструкцій ракетно-космічної техніки при локальних навантаженнях і контактних взаємодіях, динаміка космічних апаратів, великогабаритні трансформовні конструкції космічного базування, системи запобігання засміченню навколосемного космічного простору.

Актуальність завдань зі створення конкурентоспроможної продукції та передових технологій, що стоять перед ракетно-космічною галузю, пов'язана з проведенням багатопланових фундаментальних і прикладних наукових досліджень, а також науково-технічним та науково-методичним супроводом розробок та експлуатації сучасних і перспективних зразків ракетно-космічної техніки.

Це у першу чергу дослідження з метою забезпечення створення ракет-носіїв і космічних апаратів, проектування та відпрацювання рідинних, твердопаливних і електрореактивних двигунів, супутникових систем та приладів для наукового, науково-господарського та оборонного призначення (зв'язок, телебачення, дистанційне зондування Землі, прогнозування землетрусів та ін.); дослідження в галузі аеродинаміки, тепломасообміну та балістики; міцності конструкцій ракет-носіїв і космічних апаратів, а також вдосконалення методів випробувань та науково-експериментальної бази для забезпечення необхідної якості та інформативності наземного відпрацювання. Широке коло цих питань вирі-

шує Інститут технічної механіки Національної академії наук України та Державного космічного агентства України (ІТМ НАНУ і ДКАУ) — Головний інститут космічної галузі України.

Згідно з проектами Національних (загальнодержавних) космічних програм України ІТМ НАНУ і ДКАУ здійснює науково-технічне та науково-методичне супроводження науково-дослідних і проектно-конструкторських робіт. Багато досліджень інституту направлено на вирішення питань, пов'язаних з розробкою та експлуатацією ракетно-космічної техніки. Серед них забезпечення подовжньої стійкості рідинних ракет-носіїв космічних апаратів, створення та експлуатація космічного комплексу «Циклон-4», взаємодія космічних апаратів (КА) з іоносферою, аерогазодинамічні і теплові характеристики КА на етапі їхнього входу у верхні шари атмосфери Землі, аерогазодинаміка та тепломасообмін літальних апаратів, методичне забезпечення для визначення проектних параметрів, програм керування та основних характеристик ракет-носіїв, динаміка космічних апаратів та тросових систем, великогабаритні трансформовні конструкції космічного базування, системи запобігання засміченню навколосемно-

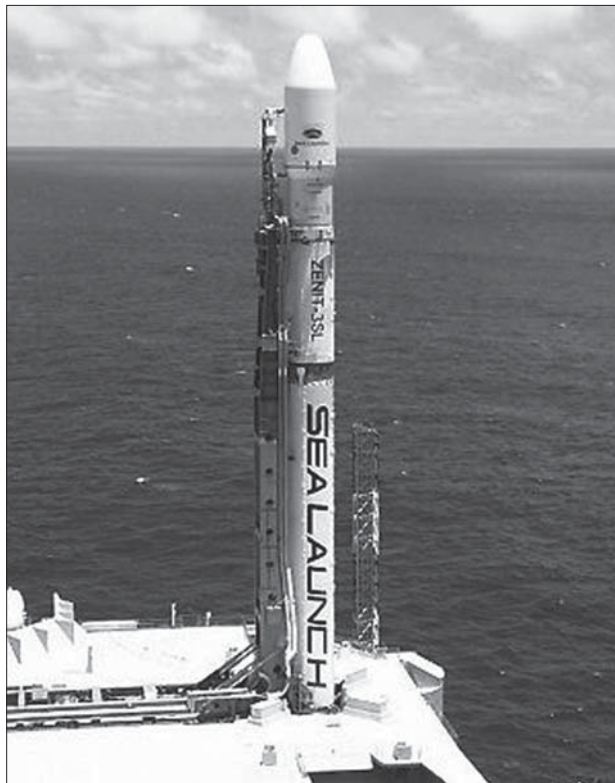


Рис. 1. Ракета-носій «Зеніт»

го космічного простору, розробка правил космічної діяльності в Україні.

Поздовжня стійкість рідинних РН КА. Створено теорію поздовжньої стійкості рідинних РН КА. Розроблено методики аналізу поздовжньої стійкості рідинних РН, які не мають аналогів в Україні і за кордоном [17, 18].

Проведено дослідження, які спрямовані на формування фундаментальних уявлень про поздовжні коливання рідинних РН на активній ділянці польоту. Розвинено лінійну теорію поздовжньої стійкості рідинних РН, насамперед за рахунок урахування кавітаційних явищ у насосах рідинних ракетних двигунних установок (РРДУ) у математичних моделях динаміки системи «РРДУ – корпус РН». Зазначене урахування провадиться згідно із розробленою теорією кавітаційних автоколивань у насосних системах живлення РРДУ [14, 19] і має ключове значення для одержання достовірних розрахункових результатів.

Створено нелінійну теорію поздовжніх коливань рідинних ракет-носіїв, що розглядаються як багатовимірні нелінійні нестационарні системи. На основі цієї теорії розроблено методику визначення амплітуд поздовжніх коливань корпусу ракети з урахуванням кавітаційних явищ у насосах РРДУ [15].

З використанням методу скінченних елементів і сучасних обчислювальних засобів розроблено методику числового моделювання вільних поздовжніх коливань нових оригінальних конструкцій верхніх ступенів рідинних РН зі складною просторовою конфігурацією паливних відсіків. Методика не має аналогів в Україні і є основою для виконання теоретичних прогнозів динамічних навантажень на конструкції верхніх ступенів рідинних РН і КА у процесі виведення їх на робочі орбіти [9].

На основі лінійної теорії поздовжньої стійкості та нелінійної теорії поздовжніх коливань рідинних РН розроблено і постійно удосконалюється науково-методичне забезпечення для прогнозування поздовжньої стійкості рідинних РН і динамічних навантажень (поздовжніх віброприскорень) на конструкції ракети і КА на активній ділянці польоту при створенні нових або модернізації РН.

Виконано теоретичні прогнози поздовжньої стійкості РКП «Зеніт-2SL», «Зеніт-3SL» (програма «Морський старт») (рис. 1), а також, відповідно до рішення ДКАУ і Ради Головних конструкторів, РКП «Зеніт-2SLБ», «Зеніт-3SLБ» (програма «Наземний старт»). Розроблено і передано ДП «КБ «Південне» практичні рекомендації із забезпечення поздовжньої стійкості зазначених РКП. Результати теоретичних прогнозів було підтверджено даними льотно-конструкторських випробувань РКП.

Проведено теоретичний аналіз динамічних властивостей РКП «Антарес» на етапі розробки її складових частин в ДП «КБ «Південне» на замовлення Orbital Sciences Corporation (США) і розроблено заходи для забезпечення поздовжньої стійкості РКП. Отримані результати було передано ДП «КБ «Південне».

Науково-технічне і науково-методичне супроводження розробки, створення і експлуатації

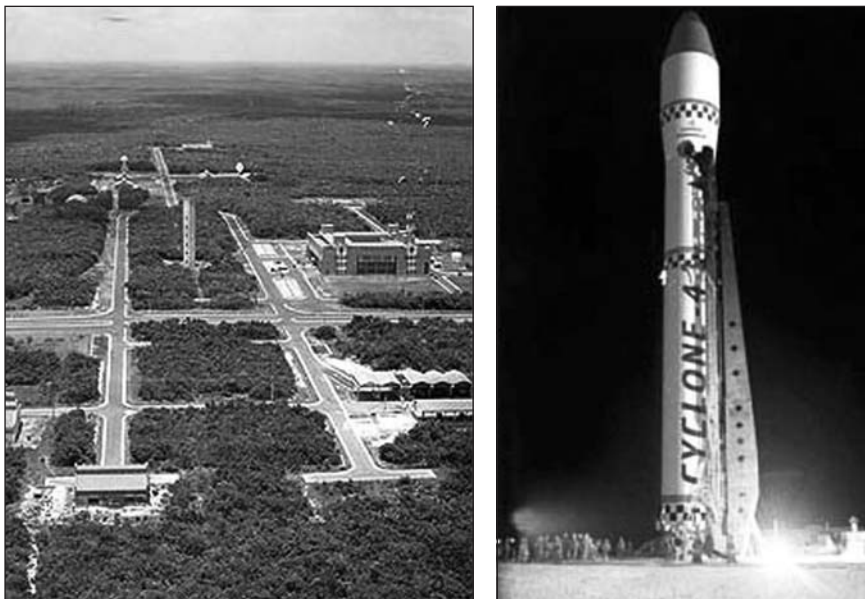


Рис. 2. Космодром Алькантара в Бразилії

космічного комплексу «Циклон-4». Постановою Кабінету Міністрів України від 27.07.2002 № 1080 «Про заходи з реалізації міжнародного проекту створення космічного ракетного комплексу «Циклон-4» інституту доручено науково-технічне супроводження створення і експлуатації КРК «Циклон-4» та його складових частин. Інститутом видано експертні висновки на ескізні проекти ракетного комплексу, наземного стартового комплексу у Бразилії, програм експериментальних відпрацювань та ін. (рис. 2).

При науково-технічному супроводі створення РКП «Циклон-4» виконано теоретичні прогнози поздовжньої стійкості РКП «Циклон-4» і динамічних навантажень (поздовжніх віброприскорень) на конструкції ракети та КА на активній ділянці польоту щодо умов пуску РКП «Циклон-4» № 1Л [16]. Розроблено і видано у ДП «КБ «Південне» рекомендації із забезпечення припустимих рівнів зазначених динамічних навантажень.

Дослідження взаємодії КА з іоносферою. Для дослідження взаємодії КА з іоносферою і магнітосферою Землі використовується плазмоелектродинамічний стенд, що сполучає властивості плазмової газодинамічної труби, електрорадіаційного стенду та вакуумної безлунної камери.

За властивостями, діапазоном науково-технічних задач та проблем плазмоелектродинамічний стенд ІТМ НАНУ і ДКАУ не має аналогів в Україні. Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 28.08.2013 № 650 стенд віднесено до переліку наукових об'єктів, що становлять національне надбання (рис. 3). За результатами наукових досліджень стенд як плазмову газодинамічну трубу експертами Європейського космічного агентства (ESA) віднесено до чотирьох найкращих плазмових труб світу поряд із стендами Massachusetts Institute of Technology (США), ONERA Center (Франція), NASA Marshall Space Flight Center (США) [49].

Стенд використовувався при виконанні наукових програм, науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт зі створення та експлуатації виробів РКТ: модулів «Квант-1,2», «Кристал», орбітальної станції «Мир», орбітальної станції «Алмаз», космічного корабля «Буран», супутників серії «Космос», «Експрес», «Метер», «Природа» та ін. В Україні стенд використовується для забезпечення виконання відомчої тематики НАН України, проектів національних космічних програм «Либідь», «Попередження», «Січ-1М», «Січ-2», РН «Дніпро», «Крона» тощо.

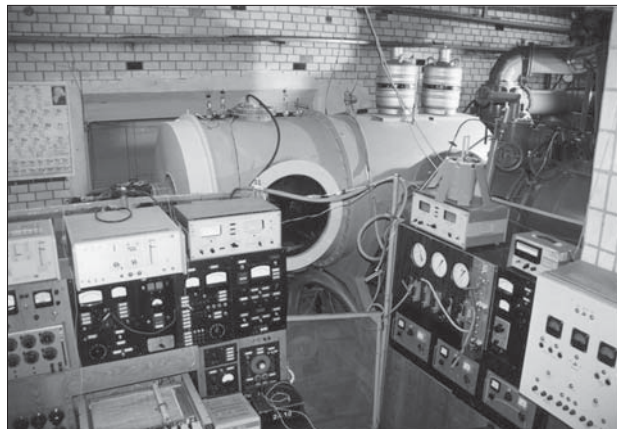


Рис. 3. Плазмоелектродинамічний стенд

На стенді проведено комплексні випробування приладів наукової апаратури «Потенціал», створених в ІТМ НАНУ і ДКАУ та Львівському центрі Інституту космічних досліджень НАНУ-НКАУ для дослідження іоносферної плазми на КА «Січ-2». Технічні можливості стенда забезпечують проведення досліджень різних аспектів взаємодії твердого тіла з потоками плазми і електромагнітного випромінювання на геостационарних, високоеліптичних і геополярних орбітах.

Для низькоорбітальних КА вивчено плазмодинамічну взаємодію з навколооб'єктовим середовищем, магнітогазодинамічну (силову та теплову) дію потоків плазми та випромінювання на системи і елементи конструкцій КА, розсіяння та дифракцію електромагнітних хвиль радіолокаційного діапазону та систем зв'язку на елементах конструкцій, плазмових струменях бортових електрореактивних двигунів КА, деградацію електричної потужності панелей сонячних батарей при тривалій дії потоків плазми атомарно-молекулярного кисню та електромагнітного випромінювання сонячного спектру, стійкість оптичних систем до впливу навколооб'єктового середовища, продуктів вихлопів бортових двигунів; проведено калібрування бортової діагностичної апаратури, призначеної для експлуатації в іоносферній плазмі.

Для високоорбітальних КА проведено дослідження високовольтової диференційної електризації, накопичення та нейтралізації об'ємних

і поверхневих зарядів, електричних пробоїв на елементах конструкцій, зниження електричної потужності панелей сонячних батарей; вивчено вторинну емісію на поверхнях елементів конструкцій, електромагнітне випромінювання, стимульоване зарядно-розрядними процесами, потоками плазми; оцінено електричну стійкість панелей сонячних батарей до дії потоків плазми, продуктів вихлопів бортових електрореактивних двигунів та електромагнітну сумісність КА з плазмою та навколишнім середовищем.

При оцінці деградації матеріалів КА та втрати потужності сонячних батарей при тривалій дії навколосупутникового середовища розроблено [27, 29, 30, 35, 38, 39, 41 — 43]:

- процедури моделювання і дослідження процесів, механізмів і закономірностей накопичення і нейтралізації високовольтних зарядів при опромінюванні діелектричних матеріалів і покритті поверхонь КА електромагнітним випромінюванням, високоенергійними електронами радіаційних поясів Землі на геостационарній орбіті і авроральними електронами при надзвуковому обтіканні КА холодною плазмою у полярній іоносфері;

- систему активного плазмового захисту елементів конструкції КА від ураження високовольтною диференціальною електрикою;

- розрахунково-експериментальні процедури і методики для інженерних оцінок рівня чистоти і маси шару молекулярного забруднення зовнішніх поверхонь КА продуктами термодеструкції органічних матеріалів і покриття внутрішніх поверхонь космічних головних частин (КГЧ) на етапі термостатування КГЧ ракет-носіїв «Дніпро», «Зеніт», «Циклон» повітрям високого тиску і при виведенні КГЧ на орбіту;

- процедури фізико-хімічного моделювання і дослідження деградації електричної потужності сонячних батарей, зміни вагових, геометричних і термооптичних характеристик полімерних і композитних матеріалів обшивок сонячних батарей (СБ) та зовнішніх поверхонь КА при тривалій дії комплексу факторів космічного простору на геостационарній орбіті, надзвукового потоку атомарного кисню і ультрафіолетового випромінювання в атмосфері Землі.

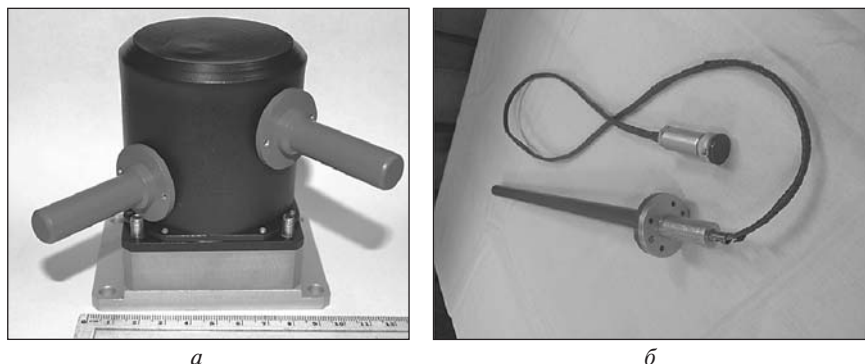


Рис. 4. Діагностична апаратура КА «Січ-2»: а — детектор нейтральних часток (DN), б — детектор заряджених часток (DE)

Отримано розрахунково-експериментальні залежності спаду електричної потужності і зміни властивостей матеріалів СБ від величини інтегрального флюенса атомарного кисню через тривалу (10—15 років) дію іонізаційного та ультрафіолетового випромінювання, забруднення захисних стекол, термоциклювання, радіаційної електризації і плазмових струменів електрореактивних двигунів на орбіті [27].

В режимі роботи стенду, що поєднує властивості плазмової газодинамічної труби і вакуумної безлунної камери, при моделюванні руху КА в атмосфері та в іоносфері Землі виявлено ефекти і механізми ослаблення і спотворення радіолокаційних характеристик КА плазмовими струменями та штучними утвореннями, що виникають під час роботи електрореактивних двигунів, інжекції електронних пучків при проведенні активних та пасивних експериментів на орбіті [28, 33, 45].

Методом фізичного моделювання визначено ефекти і закономірності магнітогідродинамічної взаємодії «намагнічених» тіл з потоком розрідженої плазми.

Обґрунтовано можливість ефективного теплозахисту та гальмування КА під час спуску в атмосфері Землі за допомогою власного магнітного поля. Показано, що обертання вектора власного магнітного поля відносно напрямку руху КА є ефективним засобом керування динамічною взаємодією в системі «плазма — КА» і дозволяє реалізувати режим взаємодії з ненульовою аеродинамічною якістю і режимами ефектив-

ного гальмування і прискорення КА в іоносферній розрідженій плазмі та плазмі сонячного вітру [31, 37, 44].

Розроблено теорію, методи і засоби контактної діагностики нейтральних і заряджених компонентів високошвидкісних потоків нерівноважної розрідженої частково дисоційованої плазми. Виготовлено бортову наукову апаратуру для діагностики іоносферної плазми на КА «Січ-2» (давачі DN і DE, рис. 4). Показано, що вихідні сигнали давачів DN і DE розробки ІТМ дозволяють завершити задачу діагностики іоносферної розрідженої плазми та визначати повний комплекс основних кінетичних параметрів іонізованого середовища: температури електронів, іонів і нейтралів; концентрації нейтральних і заряджених часток; середню масу іонів; ступеня іонізації, неізотермічності та потенціал плазми.

Розроблено процедуру ідентифікації збурень просторово-часового розподілу нейтральних і заряджених часток на орбіті КА «Січ-2» за зондовими вимірюваннями науковою апаратурою ІТМ (рис. 5). Процедура дозволяє визначати на підсупутниковій трасі КА локалізацію вивержень вулканів, епіцентрів землетрусів, що зароджуються та відбуваються, а також локалізацію південного і північного авроральних піків, екваторіальної геомагнітної аномалії та морської аномалії Уенделла [26, 32, 34, 40]. На рис. 5, а і б приведено просторово-часові розподіли концентрації електронів N_e (крива 1) і енергії землетрусів E / E_{\max} — криві 2, 3 уздовж траєкторії КА «Січ-2» 02.10.2011 р., а також показано сей-

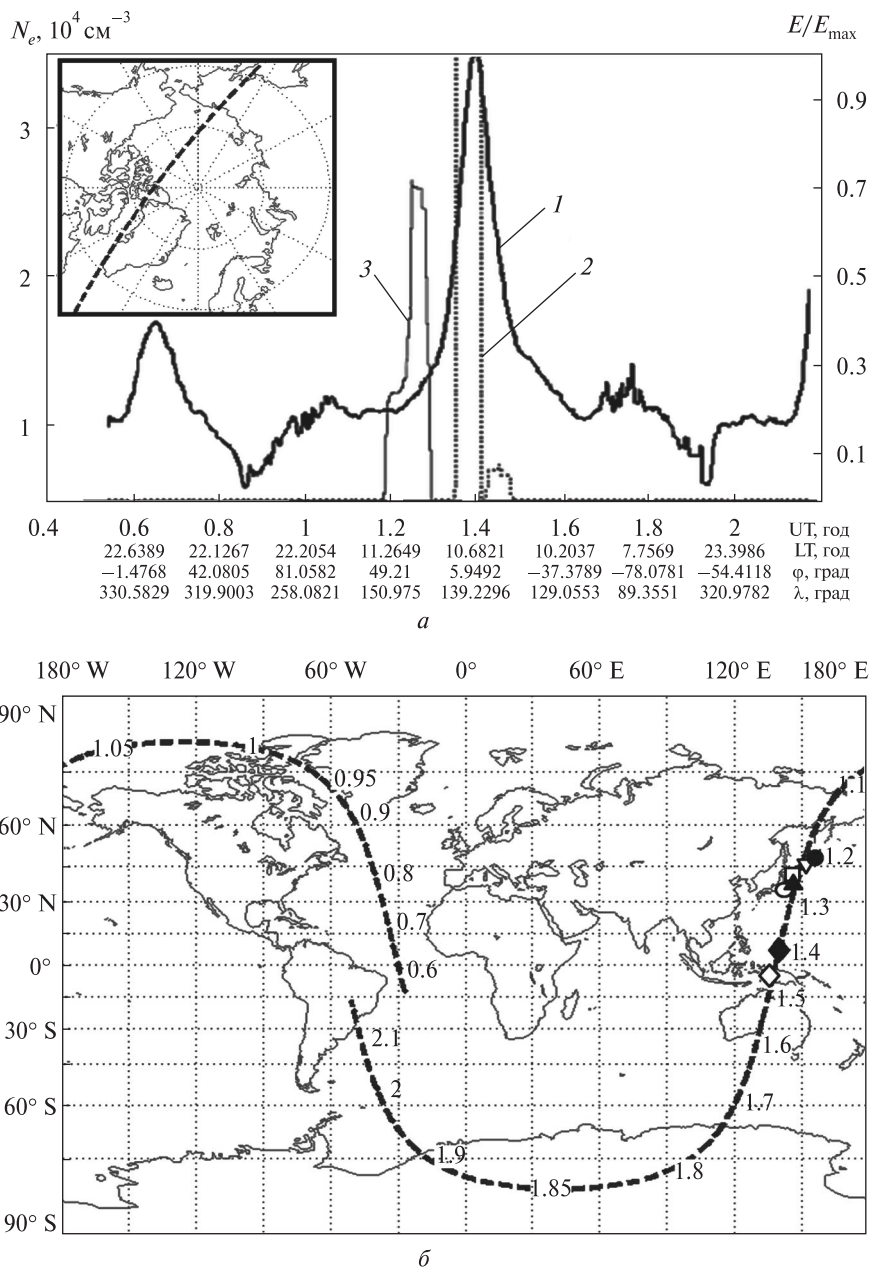


Рис. 5. Розподіл концентрації електронів і енергії землетрусів уздовж траєкторії КА «Січ-2» 01.09.2011 р.: а — епіцентрів землетрусів, б — вивержень вулканів на підсупутниковій трасі

смоактивну обстановку на підсупутниковій трасі (штрихова крива). Розрахункові значення (крива 2) охоплюють часовий діапазон ± 2 доби від 02.10.2011 р., смугу шириною $\Delta z = \pm 700$ км відносно підсупутникової траси для землетрусів з магнітудою $M > 4.5$ і глибиною $h \leq 50$ км.

Дослідження аерогазодинамічних і теплових характеристик КА на етапі їхнього входження у верхні шари атмосфери Землі. На базі застосування теорії «локальної взаємодії» та регулярних методів запропоновано ефективні чисельні алгоритми для визначення аеродинамічних характеристик

КА у перехідних режимах руху. За допомогою створеного програмного забезпечення виконано чисельні дослідження процесів масопереносу навколо КА «Січ-2» і «Циклон-4» на етапі їхнього проектування [8].

На базі відомих алгоритмів і програмних засобів для рішення завдань динаміки розрідженого газу і аналогії фізичних процесів створено нові програмні комплекси для розрахунку потоків плазми та техногенних часток. Вони дозволяють визначати силове навантаження на орбітальний КА внаслідок дії потоку сонячного випромінювання та потоку часток космічного сміття (КС) з урахуванням відбитих і перевипромінених Землею радіаційних потоків та деяких змінних факторів впливу (рівня сонячної активності, альbedo Землі, затінення орбіти з Землею, ефектів взаємного затінення елементів конструкції). Створені комплекси дозволяють обчислювати фотометричні характеристики КА складної геометричної форми, а також оцінювати ймовірність зіткнення КА із частками КС і можливість пробою елементів конструкції.

За останні роки в лабораторії динаміки розріджених газів інституту реалізовано низку експериментальних систем, серед яких: часопролітний аналізатор для діагностики прискорених потоків розріджених газів; автоматизована вимірювальна система для експериментального дослідження власної атмосфери у моделях негерметичних відсіків КА; лабораторний модуль для дослідження процесів формування власної атмосфери у моделях відсіків малогабаритних КА.

На основі реалізованих експериментальних систем у вакуумній аеродинамічній установці ВАУ-2М (рис. 6) виконано експериментальні дослідження, серед яких найбільш значущими є діагностика газодинамічних параметрів вільномолекулярних потоків, які генеруються плазмовим прискорювачем вакуумної аеродинамічної установки ВАУ-2М; проведення експериментальних робіт з визначення тиску в негерметичному корпусі КА; проведення газодинамічних випробувань у вакуумній камері та прогнозування тиску в негерметичних відсіках КА МС-1-ТК; експериментальні дослідження впливу газовиділення заповнювачів моделей



Рис. 6. Аеродинамічна установка ВАУ-2М

відсіків малогабаритних КА на параметри власної атмосфери.

Установку ВАУ-2М внесено до реєстру унікальних об'єктів РКТ України.

Великий цикл робіт з **аерогазодинаміки та тепломасообміну літальних апаратів** у щільних шарах атмосфери проведено для забезпечення наукового супроводу створення перспективних засобів виведення КА на орбіту.

Відсутність власного стартового полігону змушує Україну вивчати можливість створення мобільних авіаційно-космічних ракетних комплексів (АКРК) для систем виведення КА. Для аеродинамічного забезпечення створення АКРК в ІТМ НАНУ і ДКАУ розроблено програмно-методичне забезпечення (ПМЗ) розрахунків надзвучового обтікання носіїв на активній ділянці виведення, яке було використано у проектах АКРК «Оріоль» і «Світязь-1» для аеродинамічних розрахунків повних компонувань РН, оснащених крилами, органами керування і стабілізації [12]. В рамках проекту «Гіперзвук» разом з іншими підприємствами України провадилися роботи з питань використання гіперзвукових технологій для створення перспективних космічних систем. Дослідження провадилися у наступних напрямках: концептуальне обґрунтування компонувальних схем літальних апаратів із гіперзвуковим повітряно-прямоточним реактивним двигуном (ГППРД) (ракета-носій, летюча лабораторія, експериментальний гіперзвуковий літак); концептуальні, наукові і проектні дослідження, спрямовані на створення комбінованої рухової установки, що працює у режимі рідин-

ного ракетного двигуна ГППРД; розробка ПМЗ і проведення чисельних досліджень з аеротермогазодинаміки зовнішнього понад- і гіперзвукового обтікання літальних апаратів, процесів у повітрозбірниках і камерах згоряння ГППРД, теплового стану елементів поверхні гіперзвукових літальних апаратів (ГЛА); аналіз можливості України у створенні теплозахисних матеріалів; концептуальні дослідження з питань створення систем керування ГЛА [24, 50].

Актуальною є проблема термостатування та забезпечення збереження КА у період передстартової підготовки і під час польоту РН на активній ділянці траєкторії при виведенні на орбіту. На основі аналізу стану і напрямків розвитку систем термостатування відсіків КА у відповідності до сучасних вимог запропоновано модульний принцип побудови систем термостатування. В ІТМ НАНУ і ДКАУ створено експериментальну установку для відпрацювання на повномасштабних макетах КА системи передстартового термостатування. Отримані на цій установці результати використані при розробці обтічника РН «Зеніт». Розрахунковим шляхом визначено газодинамічні параметри в об'ємі під обтічником у процесі виведення КА на орбіту [23].

Низку наукових досліджень проведено для забезпечення проектних розробок та експериментального відпрацювання рідинно-реактивних систем (РРС) двигунів малої тяги, що використовуються для керування орієнтацією КА та верхніх ступенів РН при виведенні на орбіту та їхньому орбітальному польоті. Розроблено математичні моделі та програмне забезпечення для визначення параметрів РРС керуючих двигунів малої тяги, що включає розрахункові модулі течій компонентів палива у магістралях живлення, динаміки електрокерованих паливних клапанів і термогазодинамічних процесів у камерах згоряння [51]. Наявність такого ПМЗ дозволяє шляхом імітаційного моделювання сформулювати командні сигнали для роботи керуючих двигунів на КА, що забезпечують вибір раціональних параметрів траєкторії маневру з мінімізованими витратами робочих тіл і, у кінцевому результаті, дозволяють подовжити термін активного існування КА. Низка нових питань постала у зв'язку

з розробкою та експериментальним відпрацюванням двокомпонентної РРС керуючих двигунів III ступеня РН «Циклон-4». Особливість цієї системи полягає у тому, що живлення керуючих двигунів забезпечується не з автономних баків, а з паливних магістралей маршового двигуна газонасиченими компонентами палива. В цих умовах зміни режимів роботи маршового двигуна приводять до збурення тисків на входах у РРС, що в свою чергу може приводити до газовиділення в рідких компонентах палива. Для досліджень впливу збурень тисків на входах у РРС та газовиділення на роботу системи керування рухом III ступеня в ІТМ НАНУ і ДКАУ розроблено математичну модель двокомпонентної РРС [25], яка у складі ПМЗ використовувалась при розробці та експериментальному відпрацюванні РРС керуючих двигунів III ступеня РН «Циклон-4».

Дослідження термогазодинамічних процесів у рідинних і твердопаливних ракетних двигунах. Розроблено методи розрахунків і рекомендації щодо проектування і відпрацювання регульованих соплових блоків ракетних двигунів з пропорційним і імпульсним регулюванням вектора тяги. Отримані результати створюють науково-технічну базу для розробки нових високоефективних виконавчих органів систем керування польотом РН.

Створення експериментальне відпрацювання багатопільових космічних ступенів РН. В ІТМ НАНУ і ДКАУ розроблено методичне забезпечення [20] для визначення гідродинамічної обстановки в компонентах палива, що перебувають у баках космічного ступеня РН на пасивних ділянках польоту, з урахуванням збурень, обумовлених роботою двигунів системи управління орієнтацією ступеня; у процесі запуску маршового двигуна ступеня; в умовах мікрогравітації при різних рівнях заповнення баків; на ділянці польоту з працюючим маршовим двигуном, який ініціює інтенсивне вібронавантаження ступеня; при зупиненні маршового двигуна.

Методичне забезпечення дозволяє розраховувати параметри просторових рухів компонентів палива з урахуванням їхньої взаємодії з пружними стінками баків і внутрішньобаковими конструктивними елементами, зокрема пристроями забез-

печення їхньої суцільності; одержувати кількісні оцінки утримувальної здатності сітчастих фазорозподільвачів з урахуванням просторових рухів компонентів палива; оцінювати параметри процесів спорощення баків при запуску маршового двигуна та при його роботі; визначати об'єми вільних газових включень, що проникають у забірні пристрої баків, і оцінювати їхній вплив на стійкість запуску і робочого процесу маршового двигуна ступеня; розраховувати параметри гідроудару при зупиненні двигуна та їхній вплив на працездатність системи паливоподачі. Розроблене методичне забезпечення є базою створення систем паливоподачі космічних ступенів РН, що характеризуються високою повнотою використання бортових запасів палива та широким діапазоном вирішуваних польотних задач, дозволяючи формувати раціональні за об'ємом і мінімальні за витратами програми експериментального відпрацювання космічних ступенів РН. Отримані результати використано при проведенні робіт зі створення комплексу «Циклон-4».

Міцність і стійкість елементів конструкцій РКТ при локальних навантаженнях і контактних взаємодіях. Розроблено методи оптимального проектування стержневих конструкцій з урахуванням одночасної дії силових навантажень і агресивного середовища, які дозволяють істотно скоротити час обчислень у порівнянні з використанням традиційних підходів. На основі розроблених аналітичних і чисельних методів розрахунку проведено математичне моделювання напружено-деформованого стану неоднорідних відсіків конструкцій РКТ [48]. Проведено експертну оцінку етапів дослідно-конструкторських робіт для забезпечення міцності РН «Циклон-4» за заліковими статичними випробуваннями на міцність і вибору складу елементів конструкцій для міцносних випробувань та їхнього обсягу і обґрунтування рішень про раціональне використання матеріальної частини при експериментальному відпрацюванні міцності.

На основі створених в інституті технологій виготовлення тонкостінних пристроїв антенно-хвильоводної техніки та концентраторів сонячної енергії розроблено технологічні процеси і виготовлено антени різного класу: параболічні,

сферичні, щілинні, пірамідальні, різноманітні хвильоводні пристрої, концентратори сонячної енергії. Виготовлено елементи відбивальних поверхонь параболічного рефлектора колімаційного дзеркала розміром 5×6 м наземного антенного полігону, призначеного для комплексних досліджень антенних систем КА, який розташований в ДП КБ «Південне» [13].

Прогнозування динаміки старту РН з урахуванням особливостей її взаємодії з пусковою установкою, тягово-енергетичних характеристик двигунів першого ступеня, маси корисного вантажу, коливань рідини в паливних баках. Розроблено математичні моделі для дослідження динаміки наземного старту РН КА тандемного і пакетного компонувань з урахуванням зміни структури системи у процесі руху, а також математичні моделі для аналізу динамічної навантаженості РН КА під час мінометного старту з пускового контейнера та старту з літака-носія [10, 11]. Результати досліджень динамічних характеристик (власних частот та форм коливань) і навантаженості конструкцій ракет-носіїв «Зеніт», «Дніпро», «Циклон» на ділянці старту використані в ДП КБ «Південне».

Методичне забезпечення для визначення основних проектних параметрів, програм керування і основних характеристик РН. Розроблено методичне забезпечення для визначення на початковому етапі проектування основних проектних параметрів, програм керування і основних характеристик РН різного призначення, зокрема легкого і надлегкого класів з маршовими руховими установками, що працюють як на рідких, так і твердих ракетних паливах. Методичне забезпечення включає математичні моделі, алгоритми та програми і може бути використане підприємствами космічної галузі України при створенні об'єктів РКТ різного, у тому числі і подвійного призначення [7].

Динаміка космічних апаратів. Розроблено нові математичні моделі, розвинені і адаптовані до практичних задач, розроблено алгоритми і базові модулі комп'ютерних програм розрахунку динаміки КА з урахуванням факторів, які впливають на якість одержуваних знімків при дистанційному зондуванні Землі [1].

Динаміка космічних тросових систем (КТС). КТС є перспективним напрямом розвитку космічної техніки і відповідних технологій. Показано і оцінено можливості спрямованої зміни орієнтації та швидкості обертання КТС, параметрів її орбітального руху внаслідок резонансної зміни довжини нитки [3, 4, 47].

Запропоновано нові проекти КТС. Проект, призначений для переведення корисного навантаження на вищі орбіти, ґрунтується на розгойдуванні системи у гравітаційному полі шляхом зміни моменту інерції системи. Проект, призначений для керування орбітальним рухом системи, ґрунтується на перерозподілі кінетичного моменту між орбітальним і відносним рухом. У результаті цих досліджень отримано низку методик для вибору параметрів такої тросової системи.

Дослідження динаміки космічних маніпуляторів. У результаті проведених досліджень впливу пружної податливості елементів конструкції бортового маніпулятора КА на динаміку маніпулювання отримано низку нових результатів, що мають прикладне значення. Сформовано методичні підходи, які можна використати в дослідженнях перспективних космічних маніпуляційних систем різного призначення. Зокрема, продемонстровано ефективність поетапного підходу до побудови ієрархічної сукупності математичних моделей динаміки, запропоновано методику синтезу виконавчої системи керування, основу на використанні для попереднього вибору структури і параметрів регулятора досить простих математичних моделей з подальшим аналізом обґрунтованості прийнятих спрощувальних припущень.

У теперішній час дослідження інституту в галузі динаміки космічних маніпуляційних систем зосереджено на розробленні моделей і алгоритмів керування рухом за наявності контактної взаємодії маніпулятора і об'єкта маніпулювання, що властиво монтажно-сервісним операціям та операціям захоплення об'єкта, наприклад космічного сміття [5].

Запобігання засміченню навколоземного космічного простору. Україна з 2011 р. стала членом Міжагентського координаційного комітету з космічного сміття МККС (IADC – The Inter

Agency Space Debris Committee), задачею якого є координація на міжнародному рівні робіт національних космічних агентств з проблем, пов'язаних із засміченням навколоземного космічного простору космічним сміттям.

Виконано комплекс робіт із проблеми забезпечення безпеки космічних літальних апаратів, пов'язаних із проблемою зіткнення із фрагментами космічного сміття, а також розглянуті питання запобігання росту хмари космічного сміття (ракети-носії, космічні апарати). Розроблено комплекс питань, пов'язаних з відведенням з робочих орбіт об'єктів РКТ, що припинили функціонування. Розроблено основні положення нормативних документів, що забезпечують підвищення безпеки космічних польотів і запобігання забрудненню навколоземного космічного простору. Ці положення гармонізовані з відповідними міжнародними документами.

Спільно з ДП КБ «Південне» в ІТМ НАНУ і ДКАУ розпочато роботу над створенням двох систем відведення третього ступеня РН «Циклон-4». Одна з них ґрунтується на використанні надувних елементів, а друга — на застосуванні електродинамічної КТС.

Розпочато також роботу за проектом 7-ї Європейської рамкової програми у великій міжнародній кооперації над проектом LEOSWEEP, головним завданням якого є створення орбітального КА для відведення з низьких орбіт великих фрагментів космічного сміття [2].

Системний аналіз перспектив розвитку ракетно-космічної техніки. Розроблено метод системного регресійного аналізу, що призначений для моделювання в класі систем регресійних рівнянь структурно-невизначених об'єктів різної природи за даними спостережень їхнього функціонування [22]. Проведено дослідження космічних систем з урахуванням комерціалізації космічної діяльності. На основі системного підходу розроблено загальну методологію, математичні моделі і методики оцінки конкурентоспроможності транспортних космічних систем; розроблено ієрархічний багатокритеріальний підхід до аналізу ефективності проектів космічних систем різного призначення; створено інформаційно-аналітичне забезпечення досліджень. Викона-

но системний аналіз розвитку супутникових і транспортних космічних систем, визначено основні світові тенденції, дано пропозиції щодо перспективних напрямків розвитку українських транспортних космічних систем [6, 21].

Експертиза науково-технічних проектів і програм. Проведено науково-технічні експертизи ескізного проекту космічного апарата «Мікросат», доповнень до ескізного проекту «Модернізована космічна система для спостереження за землею в оптичному діапазоні «Січ-2М», ескізного проекту дослідно-конструкторської роботи «Створення бортових оптико-електронних систем»; підготовлено експертні висновки про технічну готовність до льотних випробувань КА МС-2-8 («Січ-2»). За останній час інститут провів 31 науково-технічну експертизу з випуском експертних висновків, зокрема за проектами «Навігація», «Січ-1М», «Мікросупутник», «Січ-2-1», «Циклон-4», «Либідь». Випущено також 52 різних висновки щодо проектних і експлуатаційних документів організацій космічної галузі. Крім того, розроблено методичні основи побудови і розвитку інформаційно-аналітичного забезпечення для системних досліджень супутникових і транспортних космічних систем [46]. Вперше в Україні розроблено методикою оцінки ефективності використання бюджетних коштів при розробці складних довгострокових науково-технічних проектів в галузі космічної техніки [21].

Розробка Національної (загальнодержавної) космічної програми України, науково-методичне супроводження проектів, розробка правил космічної діяльності в Україні. ІТМ НАНУ і ДКАУ на базі системних досліджень брав участь у розробці п'яти п'ятирічних космічних програм України у період з 1993 по 2017 роки. Дві перші програми затверджувались Кабінетом Міністрів України, а три наступні — законом України. Для космічних програм на 2008—2012 рр. і 2013—2017 рр. ІТМ НАНУ і ДКАУ розробив фінансово-економічне обґрунтування. Рекомендацію ІТМ НАНУ і ДКАУ щодо необхідності гарантованого фінансування космічних програм було враховано: космічну програму на 2013—2017 роки вперше затверджено з фінансуванням захищених позицій витрат державного бюджету України.

В 2009—2010 роках ІТМ НАНУ і ДКАУ брав участь у розробці «Концепції реалізації державної політики України у сфері космічної діяльності на період до 2032 року» та розробив її фінансово-економічне обґрунтування.

Розроблено 11 діючих нормативно-технічних документів з розробки, виготовлення та експлуатації об'єктів ракетно-космічної техніки, п'ять нових нормативно-технічних документів знаходяться в розробці.

Діючі 11 нормативно-технічних документів регламентують розробку, виготовлення та експлуатацію РКТ, організацію, виконання і забезпечення космічних запусків і польотів, нагляд і контроль за безпекою космічних запусків і польотів та експлуатацією КТ, транспортування, охорону і зберігання РКТ, проведення службового розслідування інцидентів та надзвичайних подій з РН і КА, проведення пошукових та аварійно-рятувальних робіт у космічній галузі, створення і використання наукової апаратури для космічних досліджень, експлуатацію КА, утилізацію КТ. П'ять нових нормативно-технічних документів пов'язано з загально-технічними вимогами до РН, параметрами космічного простору, правилами підготовки та видачі висновку про готовність до льотних випробувань, визначенням основних понять та методикою оцінювання ефективності використання бюджетних коштів Загальнодержавних цільових науково-технічних космічних програм України.

В теперішній час ІТМ НАНУ і ДКАУ співпрацює з ДП КБ «Південне» в рамках «Генеральної угоди про науково-технічне співробітництво між НАН України і ДП КБ «Південне» у сфері створення ракетно-космічної техніки», а також «Плану спільної науково-дослідницької діяльності», які введено в дію Постановою Президії НАН України від 10 жовтня 2012 року.

В рамках цього плану ІТМ НАНУ і ДКАУ спільно з ДП КБ «Південне» виконує дослідження з таких напрямів: методичні питання, пов'язані з розробкою гальмівного надувного пристрою, призначеного для видалення космічного сміття; методичні питання, пов'язані з розробкою електродинамічної космічної тросової системи; аеротермогазодинаміка гіперзвукових літальних апаратів з розробкою програмно-мето-

дичного забезпечення; програмно-методичне забезпечення досліджень аеродинамічних характеристик ракет з керуючими і несучими органами з урахуванням інтерференції (корпус — аеродинамічне кермо) на надзвуковій частині польоту; аеродинаміка космічних апаратів; розробка математичної моделі взаємодії пускової установки і стартового обладнання з ґрунтом під час короточасного динамічного навантаження; розрахунок міцності обичайок неоднорідної структури; моделювання динаміки роботи двигуна з урахуванням кавітації в насосах, випарювання і конденсації у пустотах і трактах двигуна; розробка матеріалів, стійких при температурі 1600—1800 °С в середовищі продуктів згоряння рідких ракетних палив; робастні алгоритми систем орієнтації космічних апаратів та ін.

1. Алтатов А. П. Подвижное управление механическими системами. — Київ: Наук. думка, 1998. — 246 с.
2. Алтатов А. П., Басс В. П., Баулин С. А. и др. Техногенное засорение околоземного космического пространства: Отраслевое пособие. — Днепропетровск: Пороги, 2012. — 378 с.
3. Алтатов А. П., Белецкий В. В., Драновский В. И. и др. Ротационное движение космических тросовых систем. — Днепропетровск — Вена — Киев — Москва: Институт технической механики НАН Украины и НКА Украины, 2001. — 404 с.
4. Алтатов А. П., Белецкий В. В., Драновский В. И. и др. Динамика космических систем с тросовыми и шарнирными соединениями. — Москва — Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2007. — 560 с.
5. Алтатов А. П., Белоножко П. А., Белоножко П. П. и др. Особенности синтеза системы управления управления космическим манипулятором // Проблемы нелинейного анализа в инженерных системах. — 2012. — 18, № 2 (38). — С. 80—103.
6. Алтатов А. П., Прокопчук Ю. А., Ющенко О. В. и др. Информационные технологии в образовании и здравоохранении. — Днепропетровск: ИТМ НАНУ, 2008. — 287 с.
7. Алтатов А. П., Сенькин В. С. Методическое обеспечение для выбора облика, оптимизации проектных параметров и программ управления полётом ракеты-носителя // Техническая механика. — 2013. — № 4. — С. 146—161.
8. Басс В. П. Молекулярная газовая динамика и ее приложения в ракетно-космической технике. — Київ: Наук. думка, 2008. — 372 с.
9. Башлий И. Д., Николаев А. Д. Математическое моделирование пространственных колебаний оболочечных конструкций с жидкостью с использованием современных средств компьютерного проектирования и анализа // Техническая механика. — 2013. — № 2. — С. 18—25.
10. Богомаз Г. И., Науменко Н. Е., Соболевская М. Б. и др. Динамика старта жидкостных ракет-носителей космических аппаратов. — Київ: Наук. думка, 2005. — 248 с.
11. Богомаз Г. И., Науменко Н. Е., Хижа И. Ю. Нагруженность элементов конструкции ракеты-носителя при минометном старте с транспортно-пускового контейнера // Вісник Дніпропетровського ун-ту. Сер. механіка. — 2006. — № 2/2. — С. 11—17.
12. Галинский В. П., Тимошенко В. И. Проблемы численного моделирования процессов аэрогазодинамики ракет-носителей // Космічна наука і технологія. — 1998. — 5, № 2/3. — С. 12—20.
13. Гудрамович В. С., Гайдученко А. П., Коваленко А. И. Технологии изготовления устройств антенно-волноводной техники и солнечной энергетики, основанные на методе электролитического формования // Космічна наука і технологія. — 2001. — 7, № 2/3. — С. 66—77.
14. Пилипенко В. В. Кавитационные автоколебания. — Киев: Наук. думка, 1989. — 316 с.
15. Пилипенко В. В., Довгоцько Н. И., Долгополов С. И. и др. Теоретическое определение амплитуд продольных колебаний жидкостных ракет-носителей // Космічна наука і технологія. — 1999. — 5, № 1. — С. 90—96.
16. Пилипенко В. В., Довгоцько Н. И., Пилипенко О. В. и др. Теоретический прогноз продольных виброускорений космического аппарата при его выведении на рабочую орбиту жидкостной ракетой космического назначения «Циклон-4» // Техническая механика. — 2011. — № 4. — С. 30—36.
17. Пилипенко В. В., Довгоцько Н. И., Пилипенко О. В. Исследования в области динамики жидкостных ракетных двигательных установок и продольной устойчивости жидкостных ракет-носителей // Техническая механика. — 2011. — № 4. — С. 16—29.
18. Пилипенко В. В., Задонцев В. А., Довгоцько Н. И. и др. Динамика жидкостных ракетных двигательных установок и продольная устойчивость жидкостных ракет-носителей // Техническая механика. — 2001. — № 2. — С. 11—37.
19. Пилипенко В. В., Задонцев В. А., Натанзон М. С. Кавитационные автоколебания и динамика гидросистем — М.: Машиностроение, 1977. — 352 с.
20. Пилипенко О. В., Заволока А. Н., Николаев А. Д. и др. Работоспособность внутрибаковых устройств обеспечения сплошности компонентов топлива в системе питания маршевой двигательной установки космических ступеней ракет-носителей // Аэрогазодинамика: проблемы и перспективы: Сб. науч. тр. — 2006. — Вып. 2. — С. 88—100.
21. Прокопчук Ю. А. Принцип предельных обобщений: методология, задачи, приложения. — Днепропетровск: ИТМ НАНУ и НКАУ, 2012. — 384 с.

22. Сарычев А. П. Идентификация состояний структурно-неопределенных систем. — Днепропетровск: ИТМ НАНУ и НКАУ, 2008. — 268 с.
23. Тимошенко В. И., Агарков А. В., Мошненко Ю. И. и др. Проблемы термостатирования и обеспечения сохранности космического аппарата в период предстартовой подготовки и при выведении на орбиту // Космічна наука і технологія. — 1999. — 5, № 5/6. — С. 56—64.
24. Тимошенко В. И., Гусынин В. П. Исследование гиперзвуковых технологий при создании перспективных транспортных космических систем // Космічна наука і технологія. — 1999. — 5, № 1. — С. 97—107.
25. Тимошенко В. И., Книщенко Ю. В. Неустановившиеся течения жидкости в сложных разветвленных трубопроводных системах // Авиационно-космическая техника и технология. — 2012. — 92, № 5. — С. 47—57.
26. Шувалов В. А., Корепанов В. Е., Лукенюк А. А. и др. Моделирование зондовых измерений параметров околоспутниковой плазмы на КА «Сич-2» // Космічна наука і технологія. — 2012. — 18, № 6. — С. 13—19.
27. Шувалов В. А., Кочубей Г. С., Бандель К. А. и др. Перенос зарядов быстрыми электронами на подветренные поверхности КА в полярной ионосфере Земли // Космічна наука і технологія. — 2007. — 13, № 6. — С. 5—17.
28. Шувалов В. А., Кочубей Г. С., Лазученков Н. М. Структура струй-выхлопов двигателей космических аппаратов // Космічна наука і технологія. — 2003. — 9, № 4. — С. 17—25.
29. Шувалов В. А., Кочубей Г. С., Приймак А. И. и др. Деградация электрической мощности солнечных батарей при воздействии околоспутниковой среды на геостационарной орбите // Космічна наука і технологія. — 2002. — 8, № 4. — С. 1—12.
30. Шувалов В. А., Кочубей Г. С., Приймак А. И. и др. Потери мощности солнечных батарей космических высокоорбитальных аппаратов из-за воздействия околоспутниковой среды // Космічна наука і технологія. — 2004. — 10, № 4. — С. 39—49.
31. Шувалов В. А., Кулагин С. Н., Кочубей Г. С. и др. Моделирование эффектов МГД-взаимодействия тел с атмосферой Земли в потоке разреженной плазмы // Космічна наука і технологія. — 2011. — 17, № 5. — С. 29—36.
32. Шувалов В. А., Лазученков Д. Н., Носиков С. В. и др. Идентификация землетрясений по зондовым измерениям возмущений параметров ионосферной плазмы на КА «Сич-2» // Космічна наука і технологія. — 2013. — 19, № 5. — С. 26—36.
33. Шувалов В. А., Левкович О. А., Кочубей Г. С. Приближенные модели струй электрореактивных двигателей космических аппаратов // Космічна наука і технологія. — 1998. — 4, № 5/6. — С. 105—109.
34. Шувалов В. А., Лукенюк А. А., Письменный Н. И. и др. Зондовая диагностика околоспутниковой среды на КА «Сич-2» // Космічна наука і технологія. — 2013. — 19, № 1. — С. 5—13.
35. Шувалов В. А., Письменный Н. И., Кочубей Г. С. и др. Потери мощности солнечных батарей КА в полярной ионосфере и магнитосфере Земли // Космічна наука і технологія. — 2011. — 17, № 3. — С. 5—15.
36. Шувалов В. А., Приймак А. И., Бандель К. А. и др. Эффекты магнитогидродинамического управления теплообменом и торможением намагниченных тел в атмосфере и магнитосфере Земли // Космічна наука і технологія. — 2008. — 14, № 4. — С. 3—14.
37. Шувалов В. А., Приймак А. И., Бандель К. А. и др. Магнитогидродинамическое торможение «намагниченных» планет в потоке плазмы солнечного ветра // Космічна наука і технологія. — 2009. — 15, № 6. — С. 3—13.
38. Шувалов В. А., Приймак А. И., Губин В. В. и др. Система активной плазменной защиты космических аппаратов от электрорадиационного воздействия ионосферы и магнитосферы // Космічна наука і технологія. — 1998. — 4, № 4. — С. 36—40.
39. Шувалов В. А., Приймак А. И., Губин В. В. Моделирование радиационной электризации подветренных поверхностей космических аппаратов на полярной орбите в ионосфере Земли // Космічна наука і технологія. — 2001. — 7, № 1. — С. 30—43.
40. Шувалов В. А., Приймак А. И., Токмак Н. А. и др. Контактная диагностика ионосферной и лабораторной плазмы // Космічна наука і технологія. — 2004. — 10, № 2/3. — С. 3—15.
41. Шувалов В. А., Тихий В. Г., Приймак А. И. и др. Деградация полимерных материалов обшивок солнечных батарей КА при длительном воздействии потоков атомарного кислорода // Космічна наука і технологія. — 2005. — 11, № 5/6. — С. 13—24.
42. Шувалов В. А., Тихий В. Г., Приймак А. И. и др. Молекулярное загрязнение поверхностей КА при термостатировании и выведении космической головной части ракеты-носителя на орбиту // Космічна наука і технологія. — 2007. — 13, № 3. — С. 3—11.
43. Шувалов В. А., Токмак Н. А., Письменный Н. И. Синергетический эффект воздействия потоков атомарного кислорода и вакуумного ультрафиолета на полиимидные пленки космических аппаратов // Космічна наука і технологія. — 2012. — 18, № 3. — С. 10—19.
44. Шувалов В. А., Токмак Н. А., Цокур А. Г. Динамическое взаимодействие космического аппарата с разреженной плазмой при движении под «магнитным парусом» // Космічна наука і технологія. — 2014. — 20, № 3. — С. 14—21.
45. Шувалов В. А., Чурилов А. Е., Быстрицкий М. Г. Ослабление радиосигналов и искажение радиолокационных характеристик космических аппаратов плазменными струями электрореактивных двигателей //

- Космічна наука і технологія. — 1999. — 5, № 5/6. — С. 81—92.
46. *Эффективность* научно-технических проектов и программ / Под ред. Е. С. Переверзева. — Днепропетровск: Пороги, 2008. — 509 с.
47. *Alpatov A. P., Beletsky V. V., Dranovskii V. I., et al.* Dynamics of tethered space systems. — Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2010. — 223 p.
48. *Hudramovych V. S.* Features of nonlinear deformation and critical states of shell systems with geometrical imperfections // *Int. Appl. Mech.* — 2006. — 42, N 12. — P. 1323—1355.
49. *Martin A. R., Rodgers D. J., Kesel R. L., et al.* Spacecraft/plasma interactions and electromagnetic effects in LEO and Polar orbits // Final Report on ESTEC Contract N 7989/88/NL/PB(SC), ESA CR (P)-3284. — V. 1, 1990. — 312 p.
50. *Timoshenko V. I., Belotserkovets I. S., Gusinin V. P.* Problems of providing completeness of the methane-containing block-jet combustion in a rocket ramjet engine's combustion chamber // *Acta Astronautica.* — 2009. — 65, N 9-10. — P. 1231—1237.
51. *Timoshenko V. I., Koshkin M. I., Knyshenko J. V.* Methodical support of development of increased safe life propulsion systems of a small thrust // 52nd International Astronautical Congress, 1—5 Oct., 2001. — Toulouse, France, 2001. — P. 78—80.

Стаття надійшла до редакції 23.10.14

О. В. Пилипенко

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ РАЗРАБОТКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Приведены результаты научно-технического и научно-методического сопровождения научно-исследователь-

ских и проектно-конструкторских работ по созданию и эксплуатации ракетно-космической техники. Среди них продольная устойчивость жидкостных ракет-носителей космических аппаратов, сопровождение разработки космического ракетного комплекса «Циклон-4», взаимодействие космических аппаратов с ионосферой, аэрогазодинамические и тепловые характеристики космических аппаратов на этапе их вхождения в верхние слои атмосферы Земли, аэрогазодинамика и тепломассообмен летательных аппаратов, прочность и устойчивость элементов конструкций ракетно-космической техники при локальных нагружениях и контактных взаимодействиях, динамика космических аппаратов, крупногабаритные трансформируемые конструкции космического базирования, системы предупреждения загрязнения околоземного космического пространства.

О. В. Pylypenko

SCIENTIFIC, TECHNICAL AND METHODIC SUPPORT OF SPACE AND ROCKET TECHNOLOGY DEVELOPMENT AND OPERATION

Some results of scientific, technical and methodic support for research and design work on development and operation of space and rocket technology are reported. The studies include longitudinal stability of liquid propellant launch vehicles, support for development of the Cyclon-4 space rocket complex, interactions between the spacecraft and ionosphere, the aerogasdynamic and thermal characteristics of spacecraft at the stage of the Earth's upper atmosphere entry, aerogasdynamics and heat and mass exchange of space vehicles, the strength and stability of structural elements of space rockets under local loads and contact interactions, dynamics of spacecraft, space-based large-scale transformed structures, and systems for space debris prevention in the near-Earth space.