

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ПРОЕКТІВ КОСМІЧНОЇ ГАЛУЗІ, ДИНАМІКА І УПРАВЛІННЯ ОРБІТАЛЬНИМИ КОМПЛЕКСАМИ

*Інститут технічної механіки
Національної академії наук України і Державного космічного агентства України,
вул. Лешко-Попеля, 15, 49005, Дніпро, Україна; e-mail: aalpatov@ukr.net*

У статті наведено аналіз результатів наукових досліджень відділу системного аналізу та проблем управління Інституту технічної механіки Національної академії наук України і Державного космічного агентства. Науковими напрямками відділу при його створенні були визначені: дослідження вільних і керованих режимів функціонування трансформованих просторово-розвинутих механічних систем космічного і наземного базування в умовах широкого спектра впливів; системний аналіз проблем космічної галузі. В останні п'ять років дослідження проводилися за кількома напрямками: оптимізація проектних параметрів ракет-носіїв, динаміка космічних апаратів і комплексів, космічні тросові системи, великогабаритні трансформовані конструкції космічного базування, дослідження динаміки космічного маніпулятора, балістика систем орбітального сервісу, проблема космічного сміття, системний аналіз проблем космічної галузі, розвиток когнітивних технологій аналізу, завдання молекулярної газової динаміки.

З урахуванням особливостей сучасного етапу розвитку космічних технологій і напрямків відповідних наукових досліджень виявлено тенденції формування вигляду космічної техніки: мініатюризація елементної бази і на цій основі створення малорозмірних платформ космічних літальних апаратів; збільшення масштабів технічних завдань, що вирішуються, пов'язаних з промисловим освоєнням навколоземного космічного простору на базі великогабаритних космічних конструкцій.

Ці тенденції розвитку космічних технологій визначають нові і модифіковані наукові напрямки розвитку космічних наукових досліджень. У цьому контексті у відділі формуються напрямки подальших наукових досліджень: розробка нової концепції боротьби з космічним сміттям, що заснована на збереженні його як ресурсу промислового виробництва на орбітальних комплексах; розробка нових підходів до продовження термінів активного існування космічних літальних апаратів на основі технологій сервісного обслуговування з використанням моделей і методів оцінки ризиків та інформаційної безпеки; розробка основних принципів створення платформ для промислового виробництва в умовах навколоземного космічного простору, що несуть енергетичний, технологічний і службовий модулі; подальший розвиток принципів і технологій управління великими космічними конструкціями і угрупованнями космічних літальних апаратів.

Ключові слова: системний аналіз, когнітивні моделі, динаміка космічних апаратів, математичні моделі, структурно-параметрична ідентифікація, космічне сміття, тросові системи, керовані ракетні об'єкти, ракетно-носії, сонячні космічні електростанції, орбітальне сервісне обслуговування, метод пробних частинок, вакуумна аеродинамічна установка.

1. Alpatov A., Cichocki F., Fokov A., Khoroshylov S., Merino M., Zakrzhevskii A. Determination of the force transmitted by an ion thruster plasma plume to an orbital object. *Acta Astronautica*. 2016. №119. С. 241–251.
2. Alpatov A. P., Fokov A. A., Khoroshylov S. V., Savchuk A. P. Error Analysis of Method for Calculation of Non-Contact Impact on Space Debris from Ion Thruster. *Mechanics. Materials Science & Engineering*. 2016. № 5. С. 64–76.
3. Sarycheva L., Sarychev A. GMDH-Clustering GMDH-Methodology and Implementation in C. Editor Godfrey Onwubolu, London: Imperial College Press, 2015. С. 157–203.
4. Alpatov A. P., Gusynin V. P., Belonozhko P. P., Fokov A. A., Khoroshylov S. V. Shape control of large reflecting structures in space. *Proceeding of the 62nd International Astronautical Congress*. Cape Town, South Africa, 2011. (3 – 7 October 2011). Vol. 7. IAC – 11.C2.3.6. С. 5642–5648.
5. Alpatov A. P., Gusynin V. P., Belonozhko P. P., Fokov A. A., Khoroshylov S. V. Configuration modeling of cable-stayed space reflectors. *Proceeding of the 64th International Astronautical Congress*. Beijing, China. 2013. (23 – 27 September 2013). Vol. 8. IAC – 13.C2.3.4. С. 5794–5799.
6. Alpatov A., Khoroshylov S., Bombardelli C. Relative Control of an Ion Beam Shepherd Satellite Using the Impulse Compensation Thruster. *Acta Astronautica*. 2018. №151. С. 543–554.
7. Shuvalov V. A., Gorev N. B., Tokmak N. A., Pis'menny N. I., Kochubei G. S. Control of the drag on a spacecraft in the earth's ionosphere using the spacecraft's magnetic field. *Acta Astronautica*. 2018. Vol. 151. С. 717–725.
8. Shuvalov V. A., Tokman N. A., Pis'menny N. I., Kochubei G. S. Dynamic Interaction of a Magnetsized Body with a Rarefied Plasma Flow. *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*. 2016. r. 57. №1. С. 145–152.
9. Абрамовская М. Г., Аксютенко А. М., Басс В. П., Ефимов Ю. П. Лабораторные и натурные эксперименты по изучению газодинамических процессов в окрестности космических аппаратов и на их по-

- верхности. Модель космоса. Т. 2. Воздействие космической среды на материалы и оборудование космических аппаратов. Под ред. проф. А. С. Новикова. М.: КДУ, 2007. 1144 с.
10. Алпатов А. П. Аэродинамические системы увода космических объектов. Техническая механика. 2015. № 4. С. 126–138.
 11. Алпатов А. П. Динамика космических летательных аппаратов. Киев: Наук.думка, 2016. 488 с.
 12. Алпатов А. П., Палій О. С., Скорік О. Д. Розробка конструктивної схеми та вибір проектних параметрів аеродинамічної системи відведення з орбіти розгінних ступенів ракет-носіїв. Наука та інновації. 2017. Т. 13. № 4. С. 33–45.
 13. Алпатов А. П., Марченко В. Т., Хорольський П. П., Сазина Н. П. Методичні аспекти фінансово-економічного обґрунтування проектів космічної техніки. Космічна наука і технологія. 2014. Т. 20. № 6. С. 49–59.
 14. Алпатов А. П., Марченко В. Т., Хорольський П. П., Сазина Н. П. Методология проведения технико-экономического обоснования проектов создания новых образцов космической техники. Техническая механика. 2015. № 3. С. 3–17.
 15. Алпатов А. П., Марченко В. Т., Сазина Н. П., Хорольський П. П., Жукова Л. Г. Об одном методическом подходе к решению проблемы количественной оценки рисков проектов по созданию ракетно-космической техники. Часть 1. Техническая механика. 2018. № 1. С. 84–96.
 16. Алпатов А. П., Бомбарделли К., Хорошилов С. В. Концепция активного удаления космического мусора. Космическая наука и технология. 2015. Т. 21. № 6. С. 60–65.
 17. Алпатов А. П., Закржевский А. Е., Мерино М., Фоков А. А., Чичокки Ф., Хорошилов С. В. Определение силы воздействия факела электрореактивного двигателя на орбитальный объект. Космическая наука и технология. 2016. Т. 22. № 1. С. 52–63.
 18. Алпатов А. П., Закржевский А. Е., Фоков А. А., Хорошилов С. В. Определение оптимального положения «пастуха с ионным лучом» относительно объекта космического мусора. Техническая механика. 2015. № 2. С. 37–48.
 19. Алпатов А. П., Марченко В. Т., Прокопчук Ю. А., Сарычев А. П., Хорошилов С. В. Системный анализ и управление сложными системами в условиях неопределенности. Днепрпетровск: Герда, 2015. 195 с.
 20. Алпатов А. П., Маслова А. И., Хорошилов С. В. Бесконтактное удаление космического мусора ионным лучом. Динамика и управление. Lambert Academic Publishing, Saarbrücken, Deutschland. 2018. 337 с.
 21. Алпатов А. П., Гольдштейн Ю. М. Баллистический анализ распределения орбит космических аппаратов различного функционального назначения. Техническая механика. 2017. № 2. С. 33–40.
 22. Алпатов А. П. Космический мусор: аспекты и проблемы. Техническая механика. 2018. № 1. С. 30–47.
 23. Алпатов А. П., Гольдштейн Ю. М. Методика выбора маршрута орбитальных сервисных операций. Материалы XVIII Украинской конференции по космическим исследованиям. Киев, 2018. С. 123.
 24. Алпатов 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.
 25. Алпатов А. П. Динаміка перспективних космічних апаратів. Вісник НАН України. 2013. № 7. С. 6–13.
 26. Алпатов А. П., Белоножко П. П., Белоножко П. П., Григорьев С. В., Тарасов С. В., Фоков А. А. Моделирование динамики космических манипуляторов на подвижном основании. Робототехника и техническая кибернетика. 2013. № 1. С. 61–65.
 27. Алпатов А. П., Белоножко П. П., Гребенкин Ф. Н., Тарасов С. В., Фоков А. А., Хорошилов С. В. Методические аспекты моделирования углового положения аппаратуры, установленной на выносных штангах космического аппарата. Техническая механика. 2013. № 2. С. 12–17.
 28. Артеменко Ю. Н., Белоножко П. П., Карпенко А. П., Саяпин С. Н., Фоков А. А. Использование механизмов параллельной структуры для взаимного позиционирования полезной нагрузки и космического аппарата. Робототехника и техническая кибернетика. 2013. № 1. С. 65–71.
 29. Артеменко Ю. Н., Белоножко П. П., Карпенко А. П., Фоков А. А. Исследование особенностей наведения массивной полезной нагрузки при помощи космического манипулятора с учетом подвижности основания в режиме отсутствия внешних сил. Наука и образы. МГТУ им. Н. Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. № 12. С. 682–704.
 30. Астапенко В. Н., Марченко В. Т., Сазина Н. П., Хорольський П. П. Оценка объема спроса национально-го рынка на информацию дистанционного зондирования Земли. Техническая механика. 2016. № 1. С. 60–73.
 31. Астапенко В. Н., Марченко В. Т., Сазина Н. П., Хорольський П. П. Оценка объема спроса национально-го рынка на информацию дистанционного зондирования земли высокого разрешения по состоянию на конец 2015 года. Техническая механика. 2016. № 3. С. 68–76.
 32. Басс В. П. Молекулярная газовая динамика и ее приложения в ракетно-космической технике. Киев: Наукова думка, 2008. 270 с.
 33. Белоножко П. П., Карпенко А. П., Фоков А. А. Некоторые особенности динамики космической системы Подвижное основание – манипулятор – полезная нагрузка: Экстремальная робототехника: труды междунар. научно-техн. конференции. Санкт-Петербург: Политехника-сервис, 2014. С. 172–181.
 34. Волошенко О. Л. Математическая модель динамики конечного тела в движении космической тросовой системы, стабилизированной вращением. Техническая механика. 2017. № 1. С. 57–64.
 35. Лапханов Е. О., Палій О. С. Аналіз можливості застосування двигунної установки з постійними магнітами для космічних апаратів на навколосезній орбіті. Системные технологии. 2017. № 4. С. 24–35.

36. Лапханов Э. А., Палий А. С. Современные задачи связанные с созданием и уводом с орбиты группировок космических аппаратов класса нано и пико. *Авиационно-космическая техника и технология*. 2018. № 4 (148). С. 20–35.
37. Макаров А. Л., Хорошилов С. В. Управление ориентацией солнечной батареи и передающей антенны электростанции космического базирования. *Космическая наука и технология*. 2012. Т18. № 3. С. 3–9.
38. Мамчук В. М., Савоник О. М., Жукова Л. Г. Об одном подходе к определению параметров космической техники. *Техническая механика*. 2013. №1. С. 96–102.
39. Марченко В. Т., Сюткина-Доронина С. В., Сазина Н. П. Об одном методе моделирования неопределенностей технико-экономических данных в задачах оценивания научно-технических проектов. *Техническая механика*. 2016. № 2. С. 137–146.
40. Марченко В. Т., Хорольский П. П., Жукова Л. Г., Сазина Н. П. Алгоритм оценки технического уровня космических аппаратов дистанционного зондирования Земли. *Техническая механика*. 2017. № 4. С. 41–48.
41. Марченко В. Т., Хорольский П. П., Сазина Н. П. О новом методе оценки технического уровня космических аппаратов дистанционного зондирования Земли. *Техническая механика*. 2017. № 2. С. 41–50.
42. Маслова А. И., Пироженко О. В. Изменение орбиты под действием малого постоянного торможения. *Космічна наука і технологія*. 2016. Т. 22. № 6. С. 20–25.
43. Маслова А. И. Колебания малой космической тросовой системы под действием аэродинамического момента. *Техническая механика*. 2016. № 3. С. 57–67.
44. Маслова А. И. Построение упрощенной модели воздействия ионного пучка на сферическую цель. *Досягнення науки в 2017 році: Збірник наукових публікацій міжнародної науково-практичної конференції "Велес"*. Київ: Центр наукових публікацій, 2017. С. 24–31.
45. Маслова А. И., Мищенко А. В., Пироженко А. В., Храмов Д. А. Исследования закономерностей динамики электродинамической космической тросовой системы для определения возможности создания высокоэффективного устройства пассивного увода космического мусора с низких околоземных орбит. *Космічна наука і технологія*. 2015. Т.21. № 1. С. 20–24.
46. Маслова А. И. Упрощенная аналитическая модель силового воздействия пучка ионов на сферу. *Техническая механика*. 2018. № 1. С. 97–106.
47. Мищенко А. В. К определению длины троса экспериментальной электродинамической системы. *Техническая механика*. 2017. № 4. С. 55–63.
48. Мищенко А. В., Пироженко О. В. Малая экспериментальная электродинамическая космическая тросовая система. *Электрическая модель. Космічна наука і технологія*. 2018. № 3. С. 3–10.
49. Палий А. С. Разработка методики проектирования аэродинамических систем увода космических аппаратов с околоземных орбит. *Восточно-европейский журнал передовых технологий. Информационно-управляющие системы*. 2015. № 1. С. 11–15.
50. Палий А. С., Скорик А. Д. Анализ возможности использования аэродинамических систем для увода модульных крупногабаритных космических объектов с низких околоземных орбит. *Техническая механика*. 2014. № 2. С. 43–51.
51. Палий О. С., Алпатов А. П., Скорик О. Д. Спосіб усунення космічних об'єктів з навколоземних орбіт та система для його здійснення: пат. 109318 Украина: МПК В 64 G 1/62, № 109318; а20131326; заявл. 14.11.13; опубл. 10.08.2015, Бюл. № 15. 11 с.
52. Палий О. С., Алпатов А. П., Пилипенко О. В., Скорик О. Д. Спосіб зменшення терміну балістичного існування космічних об'єктів на навколоземних орбітах і космічний апарат для його здійснення: пат. 113747 Украина: МПК В 64 G 1/62; а201407652; заявл. 07.07.2014; опубл. 10.03.2017, Бюл. № 5. 11 с.
53. Палий О. С., Алпатов А. П., Скорик О. Д., Авдеев А. М., Баранов Е. Ю. Аеродинамічна система усунення космічних об'єктів з навколоземних орбіт: пат. 109194, МПК В 64 G 1/62; а201312759; заявл. 01.11.13; опубл. 27.07.2015, Бюл. № 14. 12 с.
54. Печерица Л. Л., Палий А. С. Применение метода пробных частиц к аэродинамическому расчету КА. *Техническая механика*. 2017. № 3. С. 64–70.
55. Печерица Л. Л. Численные исследования параллелизации метода пробных частиц по статистически независимым испытаниям. *Техническая механика*. 2015. № 2. С. 100–109.
56. Печерица Л. Л., Смеляя Т. Г. Численное моделирование осесимметричного обтекания протяженного составного тела методом пробных частиц с использованием иерархических сеток. *Техническая механика*. 2016. № 2. С. 64–70.
57. Пироженко А. В., Маслова А. И. К динамике твердого тела. Моменты центробежных ускорений. *Техническая механика*. 2013. № 3. С. 63–71.
58. Пироженко А. В., Маслова А. И., Мищенко А. В., Храмов Д. А., Волощенко О. Л. Проект малой экспериментальной электродинамической космической тросовой системы. *Космічна наука і технологія*. 2018. № 2. С. 3–11.
59. Прокопчук Ю. А. Принцип предельных обобщений: методология, задачи, приложения. Монография. Дн-вск: ИТМ НАНУ и НКАУ, 2012. 384 с.
60. Прокопчук Ю. А. Интеллектуальные медицинские системы: формально-логический уровень. Днепропетровск: ИТМ НАНУ и НКАУ, 2007. 259 с.
61. Прокопчук Ю. А. набросок формальной теории творчества. Монография. Днепр: ГВУЗ "ПГАСА", 2017. 452 с.
62. Прокопчук Ю. А. Парадигма предельных обобщений: модели когнитивных архитектур и процессов. Saarbrücken, Deutschland: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 204 с.

63. Савчук А. П., Фоков А. А., Хорошилов С. В. Расчет бесконтактного воздействия на объект космического мусора по известному контуру объекта. *Техническая механика*. 2016. № 1. С. 26–37.
64. Сарычев А. П. Идентификация параметров систем авторегрессионных уравнений со случайными коэффициентами при известных ковариационных матрицах. *Международный научно-технический журнал: Проблемы управления и информатики*. 2013. № 5. С. 33–52.
65. Сарычев А. П. Линейная авторегрессия на основе метода группового учёта аргументов в условиях квазиповторных наблюдений. *Искусственный интеллект*. 2015. № 3–4 (69–70). С. 105–123.
66. Сарычев А. П. Линейная регрессия со случайными коэффициентами на основе метода группового учёта аргументов. *Международный научный журнал: Управляющие системы и машины*. 2015. № 3. С. 13–20.
67. Сарычев А. П. Моделирование в классе систем авторегрессионных уравнений со случайными коэффициентами в условиях структурной неопределенности. *Системные технологии моделирования сложных процессов: монография под общей ред. проф. А. И. Михалёва. Днепр: НМетАУ-ИБК "Системные технологии"*, 2016. С. 463–499.
68. Сарычев А. П. Моделирование в классе систем авторегрессионных уравнений в условиях структурной неопределенности. *Международный научно-технический журнал: Проблемы управления и информатики*. 2015. № 4. С. 79–103.
69. Сарычев А. П. Моделирование в классе систем регрессионных уравнений на основе метода группового учёта аргументов. *Международный научно-технический журнал: Проблемы управления и информатики*. 2013. № 2. С. 8–24.
70. Сарычев А. П., Сарычева Л. В. Решение задачи дискриминантного анализа на основе метода группового учёта аргументов. *Международный научный журнал: Управляющие машины и системы*. 2013. № 2 (244). С. 18–27.
71. Сенькин В. С., Сарычев А. П. Выбор проектных параметров и программ управления на начальном этапе проектирования ракет-носителей. *Техническая механика*. 2014. № 3. С. 33–47.
72. Сенькин В. С., Сюткина-Доронина С. В. Исследование влияния вариаций параметров управляемого ракетного объекта на дальность полёта. *Техническая механика*. 2016. № 4. С. 35–49.
73. Сенькин В. С., Сюткина-Доронина С. В. Исследование чувствительности целевого функционала к вариациям проектных параметров управляемого ракетного объекта. *Авиационно-космическая техника и технология*. 2016. № 3 (130). С. 9–17.
74. Сенькин В. С. К вопросу о постановке задачи оптимизации проектных параметров ракетного двигателя на твёрдом топливе. *Техническая механика*. 2014. № 4. С. 39–52.
75. Сенькин В. С. К выбору параметров космического аппарата и апогейного ракетного двигателя на твёрдом топливе. *Техническая механика*. 2015. № 3. С. 18–29.
76. Сенькин В. С. К выбору параметров тормозного ракетного двигателя на твёрдом топливе для снятия космического аппарата с рабочей орбиты. *Техническая механика*. 2016. № 1. С. 38–50.
77. Сенькин В. С. К выбору программ управления движением ракетного объекта по баллистической траектории. *Техническая механика*. 2018. № 1. С. 48–59.
78. Смелая Т. Г. Выбор расчетной сетки при моделировании течений разреженного газа методом пробных частиц. *Техническая механика*. 2013. № 1. С. 45–60.
79. Смелая Т. Г. Неструктурированные сетки и их применение при численном моделировании методом пробных частиц. *Техническая механика*. 2015. № 4. С. 155–168.
80. Сюткина С. В. Математическая модель для определения области допустимых погрешностей параметров установки ракеты-носителя на стартовом столе. *Техническая механика*. 2013. № 2. С. 26–35.
81. Сюткина-Доронина С. В. К вопросу оптимизации проектных параметров и программ управления ракетного объекта с ракетным двигателем на твёрдом топливе. *Авиационно-космическая техника и технология*. 2017. № 2 (137). С. 44–59.
82. Тарасов С. В., Фоков А. А. Модельные задачи для класса систем взаимного позиционирования космического аппарата и полезной нагрузки. *Техническая механика*. 2017. № 2. С. 20 – 32.
83. Фоков А. А., Хорошилов С. В. Валидация упрощенного метода расчета силы воздействия факела электрореактивного двигателя на орбитальный объект. *Авиационно-космическая техника и технология*. 2016. № 2/129. С. 55–66.
84. Хорошилов С. В. Анализ робастности системы управления относительным движением "пастуха с ионным лучом". *Техническая механика*. 2018. № 1. С. 48–58.
85. Хорошилов С. В. Об алгоритмическом обеспечении управления ориентацией солнечных космических электростанций. Часть 2. *Системные технологии*. 2012. Выпуск 2(61). С. 12–24.
86. Хорошилов С. В. Синтез наблюдателя расширенного вектора состояния с учетом заданных в частотной области требований к замкнутому контуру системы управления. *Техническая механика*. 2016. № 1. С. 11–25.
87. Хорошилов С. В. Синтез робастного регулятора системы управления "пастуха с ионным лучом". *Техническая механика*. 2017. № 1. С. 26–39.
88. Хорошилов С. В. Синтез субоптимальных компенсаторов возмущений в форме наблюдателя расширенного вектора состояния. *Техническая механика*. 2014. № 2. С. 79–92.
89. Хорошилов С. В. Система керування відносним рухом космічного апарату для безконтактного видалення космічного сміття. *Наука та інновації*. 2018. (14(4)). С. 5–8.
90. Хорошилов С. В. Моделирование движения космической электростанции с двумя солнечными отражателями. *Техническая механика*. 2012. № 3. С. 85–97.

91. Храмов Д. А. Схемы и модели развертывания космических тросовых систем. Техническая механика. 2014. № 4. С. 198–204.
92. Шувалов В. А., Кучугурный Ю. П. Экспериментальное обоснование концепции искусственной мини-магнитосферы как средства управления движением космических аппаратов в ионосфере Земли. Космическая наука и технология. 2018. Т. 24 № 2. С. 43–46.
93. Шувалов В. О., Дегтяренко П. Г., Симанов В. Г., Хорольський П. Г., Лобода П. І. Спосіб орбітального перельоту космічного об'єкта: пат. 125265 Україна, МПК В64G 1/00, В64G 1/10, В64G 1/24.и 2017 09603; заявл. 02.10.2017; опубл. 10.05.2018.

Отримано 24.07.2018,
в остаточному варіанті 28.10.2018