

КОСМІЧНА НАУКА І ТЕХНОЛОГІЯ

Том 20
6(91) + 2014

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ + ЗАСНОВАНО В ЛЮТОМУ 1995 р. + ВИХОДИТЬ 6 РАЗІВ ЗА РІК + КИЇВ

ЗМІСТ

Від Головного редактора академіка Національної академії наук України Б. Є. Патона

Від Державного космічного агентства України

Дегтярев А. В. В космическое будущее — вместе с наукой Украины

Вахно Н. И., Златкин О. Ю. Публичное акционерное общество «Хартрон». Земной успех в космическом масштабе

Желтов П. Н., Дюков В. И., Семенов Л. П., Харченко В. В. Разработка современных технологий и оборудования для производства ракетно-космической техники

Верещак А. П., Данилин А. Б., Зайченко А. Н., Малафеев Е. Е. Публичное акционерное общество «АО Научно-исследовательский институт радиотехнических измерений» — ведущее предприятие Украины в области космического радиоэлектронного приборостроения

Пилипенко О. В. Науково-технічний та науково-методичний супровід розробки та експлуатації ракетно-космічної техніки

CONTENTS

3 From the Editor-in-Chief, academician of the National Academy of Sciences of Ukraine, Borys Paton

4 From the State Space Agency of Ukraine

7 *Degtyarev A. V.* To the space future together with Ukrainian science

14 *Vakhno N. I., Zlatkin O. Yu.* Public Joint Stock Company «Hartron». Earthly success at the space scale

19 *Zhelтов P., Diukov V., Semenov L., Kharchenko V.* Development of modern technologies and equipment for production of rocket and space technology

27 *Vereshchak A. P., Danilin A. B., Zaichenko A. N., Malafeev E. E.* Public Joint Stock Company «JSC Scientific Research Institute of Radio Engineering Measurements», The leading Ukrainian enterprise in the field of space radio-electronic instrument making

35 *Pylypenko O. V.* Scientific, technical and methodic support of space and rocket technology development and operation

Алпатов А. П., Марченко В. Т., Хорольський П. П., Сазина Н. П. Методологічні аспекти фінансово-економічного обґрунтування проєктів космічної техніки

Черемных О. К., Климов С. И., Корепанов В. Е., Кошовый В. В., Мельник М. Е., Ивантишин О. Л., Мезенцев В. П., Ногач Р. Т., Рапопорт Ю. Г., Селиванов Ю. А., Семенов Л. П. Наземно-космический эксперимент по искусственной акустической модификации ионосферы. Первые результаты

НАШІ АВТОРИ

АВТОРСЬКИЙ ПОКАЖЧИК

49 Alpatov A. P., Marchenko V. T., Khorolskyi P. P., Sazina N. P. Methodology for financial and economic feasibility of conceptual problems in rocket-space industry

60 Cheremnykh O. K., Klimov S. I., Korepanov V. E., Kosho-vy V. V., Melnik M. O., Ivantyshyn O. L., Mezentssev V. P., Nogach R. T., Rapoport Yu. G., Selivanov Yu. A., Semenov L. P. Ground-space experiment for artificial acoustic modification of ionosphere. Some preliminary results

75 OUR AUTHORS

77 INDEX

Свідоцтво про реєстрацію КВ № 1232 від 2 лютого 1995 р.

Підписано до друку 25.12.14. Формат 84×108/16. Папір крейдований. Гарн. Ньютон. Друк офс.
Ум. друк. арк. 8,40 + 0,42 вкл. Обл.-вид. арк. 9,26. Тираж 100 прим. Зам. № 4112.

Оригінал-макет виготовлено та тираж видруковано Видавничим домом «Академперіодика» НАН України,
01004, Київ, вул. Терещенківська, 4

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів видавничої справи серії ДК № 544 від 27.07.2001 р.



Шановні члени редколегії, автори та читачі науково-практичного журналу «Космічна наука і технологія»!

Минуло двадцять років з часу прийняття Постанови № 307 від 28 грудня 1994 року Президії НАН України «Про започаткування журналу «Космічна наука і технологія». Журнал розрахований на фахівців у галузі космічної науки і техніки, на тих, хто займається використанням космічних технологій в різних галузях економіки, а також на всіх тих, хто бажає ознайомитися з досягненнями ракетно-космічної галузі України. Журнал охоплює такі розділи космічної науки, техніки та технології: ракетно-космічні комплекси та апарати наукового призначення, дослідження Землі з космосу, системи керування космічними носіями та апаратами, космічна фізика, астрономія, біологія, космічні конструкції та матеріали, космічний зв'язок та інформаційні системи, а також історичні, правові та організаційні аспекти дослідження космосу. Журнал включено до переліку фахових видань, в яких публікуються основні результати дисертаційних робіт з технічних та фізико-математичних наук. Цей журнал став гідним продовжувачем попередніх спеціалізованих видань, заснованих Національною академією наук України, таких як: «Космические исследования на Украине» (1973—1984), «Космическая наука и техника» (1986—1992).

За роки свого двадцятирічного існування журнал «Космічна наука і технологія» набув широкого визнання в Україні і за кордоном та значно сприяв розвитку космічних досліджень в Україні. Завдяки зусиллям редакційної колегії та редакції здійснено видання 20 томів журналу — 91 випуск, серед них 13 тематичних номерів та 18 додатків, в яких опубліковано понад 1500 наукових статей (30 % підготовлені за участі зарубіжних авторів).

Редакцією журналу підготовлені заходи, які забезпечать з 2015 року ширше представлення журналу в міжнародних базах даних та розширять перелік його наукових напрямів.

Щиро вітаю читачів, членів редакції та редакційної колегії з двадцятилітнім ювілеєм журналу! Бажаю Вам нових наукових звершень задля розвитку космічних досліджень в Україні!

Б. Є. ПАТОН,
президент НАН України,
головний редактор журналу
«Космічна наука і технологія»,
академік НАН України

Шановні читачі журналу!

З нагоди виходу у світ спеціального ювілейного номеру журналу «Космічна наука і технологія» щиро вітаю всіх читачів журналу, вчених НАН України, які плідно працюють у сфері розвитку космічної науки, фахівців ракетно-космічної галузі національної економіки держави, студентів, аспірантів та пересічних громадян, які цікавляться космічними дослідженнями.

З першого номера журнал привернув увагу наукової громадськості серйозним, зацікавленим підходом до проблем космонавтики, і за ці 20 років видання стало унікальним джерелом інформації про досягнення у сфері космічних досліджень, активним пропагандистом знань про освоєння космічного простору.

Сучасна космічна діяльність перетворилась у ефективну продуктивну силу суспільства, важливий елемент соціально-економічного й технічного прогресу, найважливіший засіб суспільного управління. Зважаючи на низку об'єктивних факторів, ефективність використання наявного наукового космічного потенціалу у державі видається недостатньою. При цьому позитивні тенденції подолання цього негативного явища поки що не досягли необхідної стабільності. Все це негативно позначається на кількості та якості наукових розробок, а відповідно і на конкурентоспроможності української космічної науки і промисловості на світовому ринку космічних послуг.

Незважаючи на наявні кризові явища в економіці, держава розглядає науковий космічний потенціал як національне надбання, що визначає її майбутнє. Тому Урядом України приділяється значна увага підвищенню ефективності космічної діяльності. Зокрема, Кабінетом Міністрів України визначено концептуальні засади державної політики у космічній сфері на довгострокову перспективу (Концепція реалізації державної політики у сфері космічної діяльності на період до 2032 року, схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 31 березня 2011 року № 238-р, та План заходів з її реалізації, який затверджено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 25.01.2012 року № 48-р). Загалом прийняття цих документів стратегічного планування (вперше за часи незалежності) є певним досягненням у космічній діяльності держави, і треба наголосити, що значний внесок у цю благородну справу було зроблено редакційною колегією журналу, читачами журналу з активною громадянською та науковою позицією, які активно сприяли громадському обговоренню проектів цих документів та особисто брали в ньому участь.

Впровадження у життя цих документів забезпечується виконанням загальнодержавних цільових науково-технічних космічних програм України. Наразі виконується чергова (п'ята) космічна програма на 2013—2017 роки. Виконання чотирьох космічних програм за роки незалежності дало змогу розв'язати невідкладні проблеми розвитку космічної діяльності, зберегти науковий і виробничий потенціал в інтересах національ-

ної економіки, безпеки та оборони, вийти на міжнародний космічний ринок із власною продукцією і послугами, інтегрувати Україну до міжнародної космічної спільноти, сформувати основи внутрішнього ринку космічних послуг, здійснити перші кроки на шляху до комерціалізації космічної діяльності.

Весь цей час активно розвивався журнал, сприяючи забезпеченню консолідації та формуванню наукових шкіл з космічних досліджень, умови формування яких історично склалися в Україні (насамперед у сфері сонячно-земних зв'язків, астрофізики, космічної біології, матеріалознавства).

Разом із тим вплив космічної діяльності на вирішення актуальних питань науково-технічного, соціально-економічного, екологічного, культурного і освітнього розвитку суспільства, забезпечення національної безпеки та оборони, а також реалізації геополітичних інтересів держави не відповідає потенціалу космічної галузі.

На поточний час, зважаючи на складну політичну ситуацію, перед ракетно-космічною галуззю держави постали нові виклики. Зокрема, вектор односторонньої орієнтації на співробітництво з РФ у космічній сфері з низки причин не можна вважати прийнятним.

Видається, що одним із дієвих засобів адекватного реагування на ці виклики є суттєве розширення співробітництва з країнами ЄС та США, а також активізація вжиття заходів щодо приєднання України до складу асоційованих членів Європейського космічного агентства. Ця стратегія розвитку космічної галузі видається перспективною на найближчі десятиліття.

Тому зусилля працівників управлінських структур, науковців та працівників космічної промисловості необхідно спрямувати саме на подолання цієї диспропорції. Видається, що важливу консолідувальну роль у цій благодійній справі може відіграти і журнал «Космічна наука і технологія».

Символічно, що до ювілейного номеру журналу включені статті авторів, які репрезентують широке коло вчених, інженерів і технологів з інформацією про підсумки роботи провідних підприємств ракетно-космічної галузі національної економіки за останні роки. Видається, що розміщені на сторінках журналу статті дадуть можливість зацікавленому читачеві більш детально ознайомитися з досягненнями України у сфері космічних досліджень та створити уявлення про подальші кроки вітчизняної космічної науки і технології на найближчу перспективу.

Світ навколо нас постійно змінюється. Я сподіваюся, що й у наступні десятиліття журнал буде надавати своїм читачам докладну інформацію про новітні космічні наукові дослідження та технології, досягнення космічної науки і техніки, перемоги, які здобуде людство на шляху освоєння космічного простору. Впевнений, що спільними зусиллями державних структур, працівників космічної промисловості, науковців, всіх причетних до космічної діяльності вдасться забезпечити для вітчизняної космічної діяльності гідні позиції на світовому ринку космічних послуг, що зміцнить авторитет України у світі як передової космічної держави.

Голова
Державного космічного агентства України
О. С. УРУСЬКИЙ

А. В. Дегтярев

Державне підприємство «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля», Дніпропетровськ

В КОСМИЧЕСКОЕ БУДУЩЕЕ — ВМЕСТЕ С НАУКОЙ УКРАИНЫ

Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М. К. Янгеля» — одна из ведущих мировых компаний в области создания ракетно-космической техники. Авторитет КБ «Южное» базируется на многолетнем уникальном опыте и подкрепляется умением развиваться в современных реалиях, гибко реагируя на потребности мирового космического рынка.

КБ «ЮЖНОЕ» — НА РУБЕЖЕ ВЕКОВ

За 60 лет деятельности предприятия в КБ «Южное» созданы семнадцать боевых стратегических и семь космических ракетных комплексов (РК), более 70 типов жидкостных и твердотопливных двигателей, запущено свыше 400 космических аппаратов (КА) собственной разработки. Они создавались совместно с головным заводом-изготовителем «Южмаш» и в тесном сотрудничестве с сотнями предприятий-смежников.

Благодаря системной координации и глубокой связи науки, проектирования и производства КБ «Южное» успешно справлялось с достаточно сложными заданиями. В конструкцию наших ракет были заложены эффективные, нередко пионерские технические решения, благодаря которым разработанные КБ «Южное» боевые ракеты, ракеты-носители (РН) и космические аппараты часто опережали своё время. Многие из них и сегодня востребованы и актуальны, а главное — в них предусмотрены возможности дальнейшей модернизации.

На момент распада СССР Украина была признанным лидером в области создания боевой ракетной техники, ракет-носителей и космических аппаратов. Затем положение ракетно-космической отрасли радикальным образом изменилось: исчезли ёмкие оборонные заказы, началось разрушение налаженных кооперационных связей между предприятиями и организациями Украины и стран СНГ. Основная проблема при

выборе новой стратегии заключалась в поиске приемлемого компромисса между объёмами использования имеющегося научно-технического и промышленного потенциала отрасли и экономическими возможностями государства.

Суть стратегии выведения ракетно-космической отрасли Украины из кризиса 1990-х заключалась в следующем:

- создавать новые и модернизировать имеющиеся образцы ракетно-космической техники в рамках собственных национальных проектов и принимать участие в программе сотрудничества России, Украины и Казахстана;
- постепенно, с использованием положительных результатов реализации национальных проектов, развернуть межгосударственное коммерческое сотрудничество с ведущими фирмами США, России, Китая, стран Западной Европы и Юго-Восточной Азии.

Принятая стратегия полностью себя оправдала — Украина вошла в третье тысячелетие как одна из ведущих космических стран мира. Сегодня космические ракетные комплексы украинской разработки и изготовления обеспечивают запуски космических аппаратов с космодромов многих стран.

На сегодняшний день КБ «Южное» уверенно чувствует себя на международном рынке космических услуг, принимая участие в реализации таких масштабных международных космических проектов, как «Морской старт» (с США, Россией, Норвегией), «Наземный старт» (с США, Россией), «Днепр» (с Россией), «Циклон-4» (с Бра-

зилией), «Вега» (с Европейским космическим агентством), «Антарес» (с США). Кроме того, наше предприятие создаёт научно-проектный задел для дальнейшего развития сотрудничества по перспективным космическим проектам с Китаем, Индией, Южной Кореей, Японией, Бразилией, США, странами Европы и Азии.

«**Морской старт**» — уникальный международный проект для запусков космических аппаратов ракетой-носителем «Зенит-3SL» с плавучей платформы «Одиссей», устанавливаемой в экваториальных водах Тихого океана.

Инициатором этого проекта была Ракетно-космическая корпорация «Энергия». Возможность запуска космических аппаратов с акватории Мирового океана в районе экватора позволяет реализовать максимальные энергетические возможности ракеты-носителя. Выбор пал на РН «Зенит» как наиболее современную и позволяющую обеспечить высокие энергетические характеристики, а главное — обладающую полностью автоматизированной (безлюдной) технологией подготовки и проведения пуска.

Первый успешный старт «Зенита-3SL» состоялся 28 марта 1999 г. На заданную орбиту был выведен макет КА «DemoSat». С тех пор уже проведено более тридцати успешных пусков, и на геостационарную орбиту выведены космические аппараты США, Японии, Германии, Англии, Франции, Италии и других стран.

В начале 2000-х гг. обнаружилась явная рыночная тенденция развития геостационарных спутников, подходящих для пусков с Байконура. КБ «Южное» вместе с российскими партнерами предложило использовать для этих целей стартовый комплекс с РН «Зенит» на космодроме Байконур. Компания «Sea Launch» приняла это предложение и активно включилась в процесс согласования правовых и финансовых аспектов развития проекта. В июле 2002 г. совет директоров компании «Sea Launch» принял решение о выполнении первого этапа работ по проекту «**Наземный старт**».

Была проведена модернизация технического и стартового комплексов; на трёхступенчатых носителях «Зенит-3SLБ» и «Зенит-3SLБФ» с различными разгонными блоками реализован ряд

доработок, значительно повышающих надёжность и эксплуатационные характеристики РН. По программе «Наземный старт» уже проведены девять успешных пусков.

Среди действующих программ, имеющих первостепенное значение, необходимо назвать проект «**Днепр**», занимающий прочные позиции на международном рынке пусковых услуг. Коммерческие пуски по этой программе проводятся с 1999 г. В качестве ракет-носителей используются ракеты 15A18, снятые с боевого дежурства (БД) по истечении сроков эксплуатации. При этом решаются три крупные задачи.

1. Утилизация ракет 15A18 с истекшим ресурсом (прямая ликвидация ракет представлялась достаточно затратной).

2. Выведение на орбиты КА отечественных и зарубежных заказчиков с использованием готовых ракет, что снижает стоимость запусков.

3. Подтверждение работоспособности боевых ракет после длительного нахождения на БД.

Благодаря особенностям конструкции ракеты 15A18 не потребовался длительный поиск вариантов её оптимального переоснащения в космический носитель. Наличие готовых ракет, имеющиеся стартовые комплексы, относительно небольшие затраты на переоснащение ракет и переоборудование инфраструктуры позволили в течение короткого времени подготовить регулярные пуски.

На сегодня выполнено 20 пусков с выводением на орбиты 119 космических аппаратов различного назначения, принадлежащих 29 странам мира. РН «Днепр» имеет имидж самого надёжного носителя в своём сегменте, а весь проект можно считать одним из самых успешных примеров конверсии государственного масштаба.

В последние годы предприятие вышло на новый, более высокий уровень сотрудничества с американскими компаниями. Это стало возможным благодаря участию КБ «Южное» в разработке ракетно-космического комплекса (РКК) «Антарес», создаваемого для доставки грузов на Международную космическую станцию после завершения эксплуатации в США кораблей многоразового использования «Спейс шаттл». Головным разработчиком «Антареса» яв-

ляется американская компания Orbital Sciences Corporation.

«Антарес» — относительно недорогая ракета-носитель более лёгкого по сравнению с «Зенитом» класса. Новизна и эффективность предложенной нами основной конструкции первой ступени РН «Антарес», подкреплённые возможностью изготовления этой ступени на предприятии «Южмаше» на основе освоенных технологий по РН «Зенит», позволили американским специалистам сделать беспрецедентный в истории ракетно-космической деятельности США шаг: включить в состав американской ракеты-носителя ступень, разработанную и изготовленную в иностранном государстве. КБ «Южное» разработало и совместно с заводом «Южмаш» обеспечивает изготовление основной конструкции первой ступени ракеты. Четыре успешных пуска РН «Антарес» с космодрома Уоллопс (США) в 2013—2014 годах подтвердили высокий уровень днепропетровских ракетостроителей.

На завершающей стадии находится реализация крупного международного проекта «Циклон-4». Для пусков используется новый бразильский космодром Алкантара, расположение которого в приэкваториальной зоне даёт возможность запускать космические аппараты в широком спектре наклонов орбит и обеспечивает почти двукратный энергетический выигрыш по сравнению с космодромом Байконур.

РН «Циклон-4» представляет собой новейший и наиболее мощный вариант ракет-носителей семейства «Циклон», разработанных КБ «Южное» и изготавливаемых ПО ЮМЗ. Впервые полный цикл разработки и изготовления этого перспективного ракетно-космического комплекса обеспечивает кооперация украинских предприятий. Проводятся работы по существенному повышению энергетических характеристик РН «Циклон-4» с целью расширения перспективы её применения на рынке пусковых услуг.

Конструкторское бюро «Южное» интенсифицирует перспективные научно-технические разработки, призванные обеспечить стабильное будущее предприятия и полноценную реализацию его научно-технического потенциала. Среди таких проектов — семейство экологически чистых

ракет-носителей «Маяк», в основу которых положены лучшие проектные и конструкторские решения, отработанные на созданных ранее ракетных комплексах КБ «Южное». Модульная концепция построения семейства позволит в сравнительно короткие сроки с использованием новых подходов, снижением себестоимости разработки, применением новых материалов и технологий создать новое перспективное семейство РН.

Ведутся работы по созданию **космического ракетного комплекса наземного базирования (АКРК)** сверхлёгкого класса, предназначенного для выведения микро- и миниспутников научного и народнохозяйственного назначения. АКРК должен обеспечивать как одиночные, так и групповые запуски космических аппаратов.

Важнейшим направлением деятельности КБ «Южное» является **разработка жидкостных и твердотопливных двигателей**. Украина входит в семёрку стран мира, имеющих полный цикл создания жидкостных ракетных двигателей. Международное признание достижений КБ «Южное» и Южмаша в этой области подтверждается созданием двигательной установки четвёртой ступени для европейской РН «Bera».

Сегодня предприятие завершает отработку двигателя верхней ступени РКК «Циклон-4», создаёт целый ряд двигателей для верхних ступеней, которые могут быть использованы в собственных и зарубежных проектах, интенсивно разрабатывает семейство маршевых двигателей первой и второй ступеней ракет-носителей тягой от 120 до 250 тонн. Начат проект по созданию мощного маршевого ракетного двигателя тягой до 500 тонн, проекты по созданию двигательных установок для ракетных модулей, которые смогут обеспечить доставку грузов и экипажей на Луну и ближайшие планеты Солнечной системы. Создание в Украине современных конкурентоспособных ракетных двигателей необходимо не только для комплектации ракетных комплексов отечественной и зарубежной разработки, но и для изготовления отдельного, востребованного на мировом рынке продукта, имеющего большой экспортный потенциал.

Параллельно с многообразием и высокой интенсивностью работ по боевой тематике и ра-

кетам-носителям КБ «Южное» обеспечивало высокий темп и широкую номенклатуру работ по **космическим аппаратам**. Впервые в мире на практике был реализован принцип унификации платформ космических аппаратов. Это позволило в минимальные сроки и со значительной экономией финансовых средств создать на основе базовых платформ серии многоцелевых КА и автоматических универсальных орбитальных станций. На основе принципа унификации созданы серии КА природоресурсного направления и радиоэлектронного наблюдения за поверхностью Земли: «Океан», «Целина», «Січ» и др.

«Січ-1» — первый КА, созданный в независимой Украине. С его помощью было проведено дистанционное зондирование территории нашего государства и других участков земной поверхности. Полученные результаты использованы для оценки состояния почвы и растительного покрова, влажности грунта и состояния озимых культур, контроля динамики наводнений, а также для определения загрязнённых зон Украины.

Освоение микроспутниковых технологий позволило нашему предприятию выйти на мировой коммерческий рынок космических услуг, выиграв международный тендер на создание космического аппарата для Египта «**Egyptsat-1**». В ходе реализации этого проекта Египту были переданы технологии проектирования, изготовления, сборки, интеграции, испытаний, введения в эксплуатацию и эксплуатации космических систем; проведено обучение египетского персонала этим технологиям. КА «Egyptsat-1» был запущен 17 апреля 2007 г. ракетой-носителем «Днепр» и успешно эксплуатировался на орбите в течение гарантированного срока активного существования.

На базе космического аппарата «Січ-2» была создана космическая система, в состав которой вошли: КА, центр управления полетом, а также станция приёма информации и комплексы её обработки. КА «Січ-2» вывела на орбиту в августе 2011 г. ракета-носитель «Днепр». За год им было проведено фотографирование земной поверхности площадью более 4.5 млн кв. км. Полученные снимки переданы заинтересованным министерствам и ведомствам и использованы для контроля аграрных ресурсов, земле- и ле-

сопользования, проведения мониторинга чрезвычайных ситуаций и разведывания полезных ископаемых.

Платформа, использовавшаяся для создания КА «Egyptsat-1» и «Січ-2», обладает значительными резервами по модернизации. В настоящее время на стадии изготовления и наземных испытаний находится космический аппарат для научных исследований «**Микросат**», разрабатываемый на базе этой платформы. Именно он открыл практическую реализацию комплексной научной программы, посвященной изучению и прогнозированию природных катастроф, в том числе землетрясений. КА «Микросат» будет способен выполнять комплексные измерения для исследования взаимосвязи ионосферы с процессами в земной коре. Для проведения научных исследований ионосферы в состав полезной нагрузки спутника входит комплекс научной аппаратуры «Ионосат-Микро».

«Микросат» рассматривается как прототип КА «Ионосат» для одноимённой космической системы начального этапа функционирования, в которую будет входить орбитальная группировка из трёх космических аппаратов. Наличие на борту КА двигательных установок позволит сформировать, поддерживать и изменять пространственную структуру орбитальной группировки (кластера космических аппаратов) в ходе проведения научного эксперимента по синхронному и многопозиционному измерению параметров ионосферы Земли. Эти исследования помогут проверить гипотезу и разработать методику краткосрочного прогноза сейсмической активности Земли по результатам мониторинга явлений в ионосфере.

В настоящее время ведётся разработка **КА дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ)** среднего разрешения «Січ-2-1», являющегося модификацией КА «Січ-2». В этом аппарате увеличено количество компонентов, разрабатываемых и изготавливаемых украинскими предприятиями.

Одна из основных тенденций в развитии ДЗЗ — разработка нового поколения оптико-электронных КА высокого и сверхвысокого разрешения. Их основными отличительными особенностями являются высокая производительность и воз-

возможность получения данных с пространственным разрешением 0.5—2 м. В соответствии с Общегосударственной научно-технической космической программой Украины на 2013—2017 гг. КБ «Южное» разрабатывает КА ДЗЗ «Січ-2М» для получения цифровых снимков земной поверхности высокого разрешения в видимом и инфракрасном диапазонах электромагнитного спектра. В наших планах — разработка КА ДЗЗ «Січ-3-О» для получения цифровых панхроматических и многоспектральных снимков земной поверхности со сверхвысоким разрешением.

Приоритетом для КБ «Южное» остаётся разработка систем ракетно-реактивного вооружения по заказу Министерства обороны Украины. Понимая свою ответственную роль в обеспечении обороноспособности Украины, предприятие неоднократно выдвигало предложения по созданию систем высокоточных вооружений различного назначения. В нашей стране есть все возможности для создания собственного **оперативно-тактического ракетного комплекса (ОТРК)**, отвечающего мировому уровню вооружения такого класса.

Наше предприятие уделяет серьёзное внимание поиску **решений глобальных проблем человечества**. Новыми научно-техническими проектами, реализация которых возможна в широкой международной кооперации, являются:

- ракетная система безопасного удаления высокорadioактивных отходов атомных электростанций в космос;
- система антиастероидной защиты Земли, предназначенная для безопасного изменения траектории астероидов, которые имеют вероятность столкновения с Землей;
- система «Космический патруль», предполагающая выведение группировки низкоорбитальных спутников и создание специальной наземной инфраструктуры для оперативного информирования служб спасения, медицинских, милиейских, патрульных и пограничных служб о чрезвычайных и критических ситуациях различного характера;
- космическая система «Ионосат», которая даст возможность предсказывать землетрясения в различных регионах мира.

Все эти и многие другие инженерные, проектные и конструкторские новации потребовали использования существующих и выработки новых научно-технических идей и прогрессивных решений. Этот путь системного совершенствования, пройденный под руководством М. К. Янгеля, В. Ф. Уткина и С. Н. Конюхова и ставший главной составляющей стратегии наших разработок, КБ «Южное» продолжает и сегодня.

Такой подход позволил выработать четыре стратегических направления нынешней тематики.

1. Создание конкурентоспособных ракет-носителей для закрепления Украины на международном рынке космических услуг;
2. Разработка эффективных жидкостных и твердотопливных ракетных двигателей для перспективных проектов потенциальных заказчиков;
3. Разработка новых космических аппаратов для решения широкого спектра научных, природоохранных и специальных задач в рамках национальных и международных космических программ;
4. Создание систем современного ракетно-реактивного вооружения для обеспечения обороноспособности Украины.

Эти главные направления деятельности предприятие развивает в тесном взаимодействии с институтами Национальной академии наук Украины, научными организациями Министерства обороны, ведущими техническими вузами страны, вместе с постоянным соавтором — Южным машиностроительным заводом — и со всей отечественной и международной кооперацией единомышленников и партнеров. Сегодняшняя украинская ракетно-космическая кооперация имеет высокий научно-технический потенциал для выполнения любых задач, поставленных заказчиками.

НАУКА И КОСМИЧЕСКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Общие тенденции развития космической деятельности требуют активного поиска Украиной своего места на космических рынках и в международной системе разделения труда. Сегодняшняя значительная диспропорция уровня космических технологий и эффективности их использования в Украине требует разработки новой

модели проведения космической деятельности в соответствии с современными условиями и национальными интересами.

Требуется пересмотра система бюджетного обеспечения национальных космических программ. Необходимо усиление на государственном уровне коммерциализации космических услуг и обеспечение внешнеполитической поддержки проектам.

В процессе реализации Общегосударственных космических программ Украины с 1993 по 2013 годы реальное финансирование основных проектов составляло 25—30 % от планового, что приводило к замедлению темпов разработки и разрушению наукоёмких высокотехнологических производств. КБ «Южное», несмотря на роль головного предприятия в отрасли, получило всего 9.1 % запланированных бюджетных средств, при этом около половины (47 %) отдано смежным предприятиям — участникам разработок.

При отсутствии необходимого государственного бюджетного финансирования космическая отрасль Украины сегодня живет в основном за счёт международных контрактов, что лишь поддерживает существование отрасли, не позволяя осуществлять интенсивное научно-техническое развитие, не говоря о собственных перспективных космических программах или серьёзном долевом участии в международных проектах. Парк производственного и испытательного оборудования украинской ракетно-космической отрасли, созданный в период конца 1950-х — начала 1970-х годов, имеет высокую степень износа и требует незамедлительной замены.

Стабильность работы ракетно-космической отрасли требует реальной поддержки посредством механизма государственного заказа ключевых высокотехнологичных направлений, таких как гироскопия, замкнутый цикл производства двигателей, производство собственных углерод-углеродных материалов, проката и заготовок из алюминия и титановых сплавов и др.

КБ «Южное» за счёт поступлений от международных контрактов начало планомерное обновление собственных мощностей. Важным преимуществом КБ «Южное» является сформированная на протяжении десятилетий сильнейшая школа инженерных и конструкторских

кадров с высоким творческим потенциалом и традициями преемственности в их подготовке. Именно коллектив и интеллектуальный потенциал предприятия позволяют добиваться успеха, решать сверхзадачи, находить пути преодоления любых сложностей и проблем.

В современном мире темпы развития ракетно-космической отрасли чрезвычайно высоки. Выдержать конкурентную борьбу возможно только тогда, когда решение всего комплекса вопросов разработки, изготовления, испытаний и эксплуатации изделий происходит непрерывно и системно с использованием новейших достижений науки и техники. Для этого необходимо комплексное взаимодействие с научными организациями и институтами Национальной академии наук Украины, вузовской и военной науки. Системность и целенаправленная координация фундаментальных и прикладных исследований способны дать синергетический эффект в качестве и конкурентоспособности наших разработок.

Логичным шагом на этом пути стало проведение 10 октября 2012 года заседания президиума Национальной академии наук Украины, посвященного развитию сотрудничества НАН Украины и ГП КБ «Южное», которому предшествовала большая подготовительная работа сторон. В ходе заседания было заключено Генеральное соглашение о научно-техническом сотрудничестве между КБ «Южное» и Национальной академией наук в области создания ракетно-космической техники. Для организации работ создан координационный совет под руководством Президента НАН Украины Б. Е. Патона и Генерального конструктора — Генерального директора КБ «Южное». Сформированы совместные рабочие группы от КБ «Южное» и НАН Украины по следующим основным направлениям работ:

- общие вопросы перспективных проектов;
- баллистика, аэродинамика и теплообмен;
- нагрузки и прочность конструкций;
- новые материалы и технологии;
- основные проблемы ракетных двигателей на твёрдом топливе;
- жидкостные двигательные установки;
- спутниковые системы научного и специального назначения, системы телеизмерений;

- системы управления;
- экономика и управление;
- история создания ракетно-космической техники.

На заседании президиума НАН Украины принят перспективный план совместной научно-технической деятельности КБ «Южное» и научных учреждений НАН Украины на пять лет. В результате были возобновлены многолетние связи между КБ «Южное» и институтами НАН Украины, найдены новые направления сотрудничества, разработаны и согласованы технические задания, выданы исходные данные по ряду направлений, выполнен ряд запланированных этапов работ. Итоги выполнения плана регулярно рассматриваются на заседаниях координационного совета.

Продолжает развиваться сотрудничество КБ «Южное» с НАН Украины в рамках взаимодействия с Международной академией астронавтики (МАА). Начаты совместные исследования по направлениям, предусмотренным Меморандумом о взаимопонимании, приоритетных направлениях и перспективах сотрудничества МАА и НАН Украины в космической сфере. Меморандум был принят в 2012 г. на совместном заседании руководства МАА и НАН Украины, организованном и проведённом в Киеве Украинским региональным отделением Международной академии астронавтики.

Очередным шагом по консолидации отечественной науки и производства стало проведение 7 февраля 2013 года в Днепропетровске, по инициативе КБЮ, координационного совещания с ведущими техническими вузами Украины. В совещании на базе КБ «Южное» приняли участие ректоры и сотрудники 26 ведущих университетов страны, представители МОН Украины, председатель Приднепровского научного центра НАН и МОН Украины. Было подписано Генеральное соглашение о совместных исследованиях в области создания ракетно-космической техники. В настоящее время уточнены направления совместных исследований, поданы заявки на получение бюджетного финансирования, заключён ряд двусторонних договоров. Достигнутые соглашения в итоге будут способствовать внедрению научных разработок вузов в перспективные

разработки КБ «Южное», развитию научно-технической базы вузов, повышению качества подготовки специалистов и научных кадров.

В июне 2013 г. КБ «Южное» провело координационное совещание с военными вузами и научно-исследовательскими организациями Министерства обороны Украины, в результате которого было заключено Генеральное соглашение о совместных исследованиях в области создания ракетно-космической техники. Такое взаимодействие военной науки и промышленности особенно важно в части определения основных тактико-технических характеристик перспективных ракетных комплексов и для формирования общих с Заказчиком взглядов на модели их боевого применения. Важнейшей общей задачей является оптимизация этапов создания образцов ракетно-реактивного вооружения в условиях ограниченного бюджетного финансирования.

Украина получила бесценное наследство от Советского Союза — систему предприятий ракетно-космической отрасли. За годы независимости удалось не только сохранить отрасль, но и развить её, несмотря на малые объёмы государственного финансирования и государственных заказов.

КБ «Южное», имея огромный опыт управления кооперацией высокотехнологичных предприятий и организаций, определяющих реальный промышленный потенциал страны и его конкурентоспособность, открыто для сотрудничества в создании наукоёмкой, востребованной на мировом рынке продукции.

Стаття надійшла до редакції 14.10.14

А. В. Дегтярев

У КОСМІЧНЕ МАЙБУТНЄ —
РАЗОМ З НАУКОЮ УКРАЇНИ

Державне підприємство «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля» — одна із провідних світових компаній в царині створення ракетно-космічної техніки. Авторитет КБ «Південне» базується на багаторічному унікальному досвіді і підкріплюється умінням розвиватися у сучасних реаліях, гнучко реагуючи на потреби світового космічного ринку.

A. V. Degtyarev

TO THE SPACE FUTURE
TOGETHER WITH UKRAINIAN SCIENCE



Рис. 1. Основная конструкция первой ступени РН «Антарес», разработанная КБ «Южное» и изготавливаемая на Южмаше



Рис. 2. Старт РН «Антарес» с грузовым кораблем «Сигнус» с космодрома США на острове Уоллопс



Рис. 3. Европейская РН «Вега» с маршевым двигателем верхней ступени, разработанным в КБ «Южное» и изготовленным на Южмаше



Рис. 4. Подписание Плана совместной научно-технической деятельности КБ «Южное» и научных организации НАН Украины на 2014 год



Рис. 5. Космический аппарат для научных исследований «Микросат»



Рис. 6. Семейство перспективных ракет-носителей «Маяк» легкого и среднего классов на экологически чистом топливе



Рис. 7. Перспективный космический аппарат ДЗЗ «Січ-Перспектива»

УДК 629.76 (477.63) (09)

Н. И. Вахно¹, О. Ю. Златкин²

¹ Публічне акціонерне товариство «Хартрон», Харків

² Науково-виробниче підприємство «Хартрон-Аркос», Харків

ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ХАРТРОН». ЗЕМНОЙ УСПЕХ В КОСМИЧЕСКОМ МАСШТАБЕ

Представлены 55-летняя история и основные достижения харьковского предприятия ПАО «Хартрон» — разработчика систем управления объектов ракетно-космической техники и автоматизированных систем управления технологическими процессами. Рассказывается о современных и перспективных разработках, о новых направлениях в деятельности холдинга с мировым именем.

Сегодня Публичное акционерное общество «Хартрон» — один из флагманов украинской ракетно-космической отрасли и сферы высоких технологий. За 55 лет своего существования и развития «Хартрон» прошел путь от специального конструкторского бюро до большого многопрофильного холдинга, предприятия с мировым именем, разработки которого известны и внедрены далеко за пределами Украины.

Харьковские КБ «Электроприборостроения» и опытный завод «Электроприбор», правопреемником которых является «Хартрон», еще в шестидесятых годах обрели статус ведущих мировых разработчиков систем управления объектов ракетно-космической отрасли. В восьмидесятых годах НПО «Электроприбор» разработало систему управления ракеты-носителя «Энергия» — самой мощной ракеты в истории мировой космонавтики, способной доставить на орбиту свыше 100 тонн полезного груза. Нарботанный за пять с половиной десятилетий потенциал «Хартрон» сохраняет и сегодня, ежегодно доказывая, что украинские высокие технологии способны сделать управляемым взаимодействие человека с любыми стихиями: подземным царством, земной атмосферой, далеким космосом и атомной энергией.

Отсчет истории предприятия начался в 1959 году. В период существования Советского Союза предприятие заслуженно считалось крупнейшим в стране разработчиком и производителем систем управления ракет стратегического назначения и ракет-носителей космических аппаратов. Причем «Хартрон» выполнял полный цикл работ — от формулировки идеи до ее практического воплощения в «железе» и в серийном производстве.

В таких областях как обеспечение контроля за динамикой полета, создание цифровых систем управления и программного обеспечения «Хартрон» являлся пионером, вел разработки на мировом уровне и по многим направлениям определял его.

Среди наиболее значимых достижений «Хартрона» — разработка систем управления ракет SS-18, SS-19, ракет-носителей «Циклон» (самого надежного носителя в мире) и «Энергия», уникальной системы автоматической стыковки тяжелых космических аппаратов с орбитальной станцией (транспортных кораблей серии «Космос», станции «Салют», модулей станции «Мир» — «Квант», «Кристалл», «Природа», «Спектр», грузового блока «Заря» международной космической станции (МКС) «Альфа»).

В целом ракеты-носители, оснащенные системами управления нашей организации, вывели



Рис. 1. Корпуса публичного акционерного общества «Хартрон»

на орбиту около 1000 космических аппаратов, в том числе первый украинский искусственный спутник Земли, положивший начало целой серии спутников «Космос».

Самым сложным периодом для «Хартрона», как и для других предприятий ВПК, были девяностые годы. Но «Хартрон» выстоял: успешно осуществил глубокую диверсификацию производства и освоил новые наукоемкие и высокотехнологичные виды деятельности.

В 1995 г. ГП «Научно-производственное объединение «Хартрон» преобразовано в акционерное общество, а с 1998 г. оно является большой холдинговой компанией, в состав которой входит ПАО «Хартрон» и 11 самостоятельных научно-производственных предприятий (НПП), расположенных в Харькове, Запорожье и Москве. Каждое из них специализируется на наукоемких разработках в определенной области. Финансовая независимость позволяет НПП быстро реагировать на изменение ситуации на рынке и обеспечивает необходимую самостоятельность в выборе направлений разработок. А ПАО «Хартрон», кроме производственной деятельности, выполняет роль координирующей, управляющей компании, что обеспечивает максимальную эффективность работы всех предприятий холдинга.

КУРС — НА КОСМОС

Основное направление деятельности «Хартрона» — ракетно-космическое — остается неизменным. Головным разработчиком проектов в

сфере ракетно-космических технологий является НПП «Хартрон-Аркос», которое работает в кооперации с научно-производственными предприятиями «Хартрон-Юком», «Хартрон-Плант» и «Хартрон-Асконд».

Сотрудники НПП «Хартрон-Аркос», кроме названных выше разработок, гордятся также такими достижениями предприятия как системы управления межконтинентальных баллистических ракет всех четырех поколений, ракет-носителей «Днепр», «Рокот», «Стрела». Среди разработок космического направления — это системы управления космических аппаратов «Целина», «Січ-1», «Аркон», спутника связи «Купон», микроспутника «Egypsat-1», малого спутника дистанционного зондирования Земли МС-2-8 украинской космической системы «Січ-2» и других.

Кроме этого, НПП «Хартрон-Аркос» разрабатывает: танковый баллистический вычислитель по заказу Харьковского конструкторского бюро машиностроения им. А. А. Морозова; программно-технические комплексы автоматического регулятора разгрузки и ограничения мощности, системы индустриальной антисейсмической защиты для Ровенской АЭС; конструкторско-технологическая документация, на основе которой изготовлены и установлены на вокзалах Харькова информационные табло. В кооперации с украинскими предприятиями отрасли ведутся работы по созданию систем управления ракет «Гром», «Маяк», спутников «Микросат», «Січ-2-1». Кроме того, разрабатываются бесплатформенные инерциальные навигационные системы

на базе лазерных и волоконно-оптических гироскопов, интегрированные со спутниковыми навигационными системами и астроизмерителями для перспективных систем управления объектов ракетно-космической техники. Ведутся разработки систем управления для украинского беспилотного летательного аппарата вертолетного типа.

В НПП «Хартрон-Аркос» большое внимание уделяется техническому перевооружению и модернизации рабочих мест на основе современной компьютерной техники. Предприятие располагает уникальным технологическим оборудованием, обеспечивающим экспериментальную отработку аппаратуры систем управления на всех этапах жизненного цикла.

Структурным подразделением НПП «Хартрон-Аркос» является Испытательно-сертификационный центр, который проводит испытания всего спектра приборов, изготавливаемых предприятием, а также выполняет работы для сторонних организаций в авиационно-космической отрасли, на железнодорожном транспорте, электроэнергетике и атомной промышленности.

Характерной особенностью продукции предприятия является ее высокая наукоемкость. Соответственно в структуре предприятия значительное место занимают научно-теоретические и научно-технические подразделения, укомплектованные высококвалифицированными научными кадрами, в числе которых действительные члены Международной академии навигации и управления движением, сотрудники, имеющие ученые степени и звания. Предприятие имеет научный статус высокой категории.

Опыт работы НПП «Хартрон-Аркос» востребован и странами дальнего зарубежья. Предприятие участвует в международных Программах по мирному освоению космического пространства, в частности выполнены работы по контрактам с китайской промышленной корпорацией «Великая стена», ведутся переговоры по заключению контрактов на новые проекты.

В 2013 г. с Центра космических полетов на острове Уоллопс (США) проведены два успешных запуска перспективной двухступенчатой ракеты-носителя «Антарес», грузоподъемность кото-

рой составляет около семи тонн. Первая ступень этой ракеты спроектирована и изготовлена в Днепропетровске Конструкторским бюро «Южное» и Южным машиностроительным заводом, система управления — специалистами НПП «Хартрон-Аркос» и НПП «Хартрон-Юком». В целом в процессе реализации программы «Антарес» достигнут беспрецедентный уровень кооперации украинских компаний в международных космических проектах. Украинской стороной по заказу НАСА впервые выполнен весь комплекс работ по проектированию и изготовлению материальной части первой ступени ракеты-носителя и разработке системы управления. Украина в очередной раз доказала, что она является космической державой. В этом есть и прямая заслуга «Хартрона».

В январе 2014 г. осуществлен третий успешный запуск ракеты-носителя «Антарес»: на орбиту выведены более 30 наноспутников и грузовой корабль «Сигнус», который доставил на Международную космическую станцию около 1,6 тонн груза.

В настоящее время осуществляется поставка на космодром Алкантара в Бразилии новой украинской коммерческой ракеты-носителя «Циклон-4», систему управления для которой разработало НПП «Хартрон-Аркос» в кооперации с НПП «Хартрон-Плант» и НПП «Хартрон-Юком». Космический проект «Циклон-4» имеет статус международного и совместно реализуется Украиной и Бразилией с 2003 г.

Непосредственное участие ПАО «Хартрон» принимает и в работе международной космической компании «Космотрас» — оператора запусков ракет-носителей «Днепр». С сентября 2009 г. ПАО «Хартрон» является головным предприятием по подготовке и обеспечению запусков ракет-носителей «Днепр» со стороны Украины. И это отнюдь не случайность: РН «Днепр» создаются на базе самых мощных в истории мировой ракетно-космической отрасли межконтинентальных баллистических ракет РС-20Б (15А18), система управления которых в свое время была разработана «Хартроном».

На сегодняшний день компанией «Космотрас» осуществлено уже 18 запусков РН «Днепр», в ре-

зультате которых 15 странами на околоземную орбиту выведено 63 космических аппарата. При этом РН «Днепр» используется как для одиночных, так и для кластерных запусков, когда на орбиту выводится сразу несколько космических аппаратов. Так, в 2011 г. наряду с шестью зарубежными спутниками РН «Днепр» вывела на орбиту украинский космический аппарат — «Січ-2» и блок БПА-2.

НА ЗЕМЛЕ ПРОСТОРА ХВАТИТ!

Впрочем, разработки НПП, входящих в состав «Хартрона», сегодня востребованы не только в космосе, но и в разных сферах экономики. Девиз холдинга — «Системы управления в космосе и на Земле» — очень точно отражает и специфику, и потенциал, и уникальность «Хартрона».

Так, НПП «Хартрон-Экспресс» плодотворно сотрудничает с Государственной администрацией железнодорожного транспорта Украины «Укрзалізниця» и Крюковским вагоностроительным заводом: разрабатывает системы автоматизированного управления, поставляет электрооборудование для капитального ремонта, модернизации и оснащения пассажирских вагонов скоростных поездов и электровагонов. Для скоростных поездов предприятием разработана автоматизированная информационно-диагностическая система ВИД, обеспечивающая сбор, обработку и отображение служебной информации о работоспособности оборудования пассажирских вагонов всего поезда и передачу ее наземным службам. Все создается в соответствии с технологиями управления космическими объектами — только на Земле.

Свой вклад в развитие украинского железнодорожного транспорта вносит и НПП «Хартрон-Инкор». Оно поставляет оборудование для микропроцессорной централизации стрелок и сигналов, системы доступа пассажиров и информационные системы для железнодорожных вокзалов.

МИРНЫЙ АТОМ ПОД КОНТРОЛЕМ

Среди особо важных и значимых направлений деятельности «Хартрона» — разработка, внедрение систем управления и обеспечение безопас-

ности в сфере энергетики, в том числе — в атомной энергетике. В 1994 г. «Хартроном» совместно с американской компанией «Вестингауз Электрик» — одной из ведущих мировых компаний по производству топлива для АЭС и проектированию ядерных реакторов — создано совместное предприятие «Вестрон».

Сегодня харьковский «Вестрон» — один из лидеров по разработке систем контроля и управления атомными и тепловыми электростанциями, сложными промышленными объектами не только в Украине, а и далеко за ее пределами. За 20 лет существования «Вестроном» реализовано множество уникальных проектов в 16 странах мира на 4 континентах.

Хорошо известна в Украине и за ее пределами продукция НПП «Хартрон-Энерго» — электронные приборы и технические средства автоматизированных систем управления. Это и системы защиты ядерных реакторов, и системы автоматизированного контроля хранения отработанного ядерного топлива, системы телевизионного контроля состояния корпусов и внутрикорпусных устройств ядерных реакторов. Аппаратура, разработанная и изготовленная НПП «Хартрон-Энерго», успешно эксплуатируется на всех украинских АЭС, в сфере железнодорожного транспорта и метрополитенов.

Научное направление на объекты энергетики поставляет и НПП «Хартрон-Инкор» — аппаратуру релейной защиты и противоаварийной автоматики.

Одной из отличительных особенностей и преимуществом ПАО «Хартрон» является то, что в состав холдинга входит приборостроительный завод НПП «Хартрон-Плант».

Принципиально новое направление деятельности «Хартрона» — разработка систем контроля и управления ядерной подкритичной установки (ЯПУ), которая в настоящее время создается на базе национального научного центра «Харьковский физико-технический институт». В частности, НПП «Хартрон-Арко» разрабатывает систему контроля и управления установкой, а научные подразделения ПАО «Хартрон» — систему контроля плотности нейтронного потока, призванную обеспечить ядерную безопасность при

эксплуатации ЯПУ во всех режимах. Право на разработку системы управления и безопасности ЯПУ ПАО «Хартрон» выиграл в напряженном международном тендере.

Для Украины это беспрецедентный научно-технический проект, в реализации которого помимо «Хартрона» принимают участие специалисты из США, Российской Федерации и многие предприятия Украины.

Введение ЯПУ в эксплуатацию позволит получать и использовать потоки нейтронов для выполнения целого комплекса важных задач: проведения прикладных и научных исследований, производства медицинских изотопов, подготовки специалистов-атомщиков.

И то, что в воплощении этого глобального проекта одна из ключевых ролей принадлежит «Хартрону», не случайно и символично.

Настоящим флагманам космических технологий любые задачи по плечу.

1. *Системы управления объектов ракетно-космической техники* / Под ред. О. Ю. Златкина. — Харьков: НПП «Хартрон-Аркос», 2014. — 38 с.
2. *Хартрон. Системы управления в космосе и на Земле* / Под ред. С. А. Русакова. — Харьков: ПАО «Хартрон», 2014. — 66 с.
3. *Хроника дат и событий. 1959 — 2012 гг.* — 3-е изд., доп. / Под ред. Ю. М. Златкина. — Харьков: НПП «Хартрон-Аркос», 2012. — 259 с.

Стаття надійшла до редакції 17.10.14

М. І. Вахно, О. Ю. Златкін

ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ
ТОВАРИСТВО «ХАРТРОН».
ЗЕМНИЙ УСПІХ У КОСМІЧНОМУ МАСШТАБІ

Представлені 55-річна історія та основні досягнення харківського підприємства ПАТ «Хартрон» — розробника систем керування об'єктів ракетно-космічної техніки та автоматизованих систем керування технологічними процесами. Розповідається про сучасні та перспективні розробки, про нові напрями у діяльності холдингу зі світовим ім'ям.

N. I. Vakhno, O. Yu. Zlatkin

PUBLIC JOINT STOCK COMPANY
HARTRON. EARTHLY SUCCESS
AT THE SPACE SCALE

We present 55-year-old history and basic achievements of the Kharkiv enterprise Public Joint Stock Company HARTRON, a developer of control systems for space-rocket technique objects and of automated control systems for technological processes. Some modern and future developments as well as new directions in the activities of the holding company with a worldwide reputation are considered.

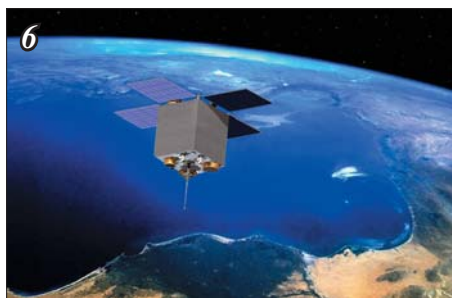
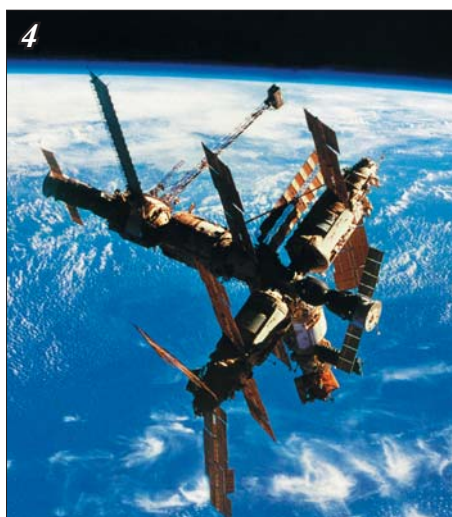


Рис. 2. Старт РН «Днепр»

Рис. 3. Многоразовая транспортная космическая система «Энергия-Буран»

Рис. 4. Орбитальный комплекс «Мир»

Рис. 5. МКС «Альфа» на начальном этапе полета: блоки «Заря» и «Юнити»

Рис. 6. Спутник МС-2-8

Рис. 7. РН «Циклон-4»

УДК 621

П. Н. Желтов¹, В. И. Дюков², Л. П. Семенов³, В. В. Харченко¹

¹ Публічне акціонерне товариство «Український науково-дослідний інститут технології машинобудування», Дніпропетровськ

² Державне підприємство «Виробниче об'єднання

Південний машинобудівний завод ім. О. М. Макарова», Дніпропетровськ

³ Державне космічне агентство України, Київ

РАЗРАБОТКА СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Изложены результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по совершенствованию технологий и оборудования для производства ракетно-космической техники. Работы направлены на повышение технологичности конструкций, обеспечение надежности изделий, снижение себестоимости производства.

Имея значительный опыт в разработке и внедрении комплексных и специализированных технологий и оборудования, ПАО «Украинский НИИ технологии машиностроения» (УкрНИИТМ) за последние годы совместно с ГП «Производственное объединение Южный машиностроительный завод им. А. М. Макарова» (ГП ПО ЮМЗ) и Государственным конструкторским бюро «Южное» им. М. К. Янгеля (ГП КБ «Южное») выполнял ряд научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, направленных на технологическое обеспечение проектирования и изготовления изделий, совершенствование производственной базы РКТ.

В первую очередь работа института была направлена на решение проблемных вопросов по технологии изготовления РН «Циклон-4», повышение технологичности конструкций, обеспечение надежности изделий, снижение себестоимости производств.

Одной из принципиальных особенностей конструкции РН «Циклон-4» является сварной вафельной конструкции головной аэродинами-

ческий обтекатель с продольным раскрытием створок, который до настоящего времени не имел аналогов. Большие габариты обтекателя (диаметр 4000 мм, длина 10000 мм), малая толщина обшивки ($\delta \approx 1.5$ мм), наличие операций с различными видами сварки, механической обработки, высокие требования по обеспечению выходных геометрических параметров определяют создание технологического процесса изготовления обтекателя как сложную научно-производственную задачу.

Изучив заложенные в конструкторской документации (КД) конструкторские решения, ПАО УкрНИИТМ с привлечением ведущих специалистов ГП ПО ЮМЗ, Днепропетровского национального университета, Днепропетровского горного университета разработали директивную технологию изготовления головного обтекателя (ГО), которая была принята ГП КБ «Южное» и ГП ПО ЮМЗ. В результате проведенной работы ГП КБ «Южное» откорректировало конструкторскую документацию на головной обтекатель. После этого была проведена подготовка производства.

Для обеспечения выполнения требований КД по геометрическим параметрам и обеспечению



Рис. 1. Оснастка для отжига заготовок

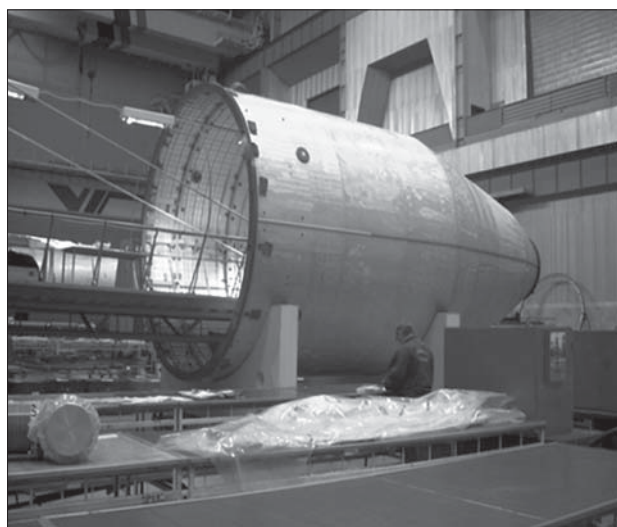


Рис. 2. Головной обтекатель

работоспособности ГО при раскрытии створок, разработана конструкторская документация и изготовлена крупногабаритная уникальная оснастка для термокалибровки и отжига заготовок конических и цилиндрических обечаек головного обтекателя, проведена последующая отработка технологии (рис. 1).

Надо отметить, что внедрение технологии калибровки узлов таких габаритов проведено впервые. Изготовленные головные обтекатели соответствуют требованиям КД (рис. 2).

Разработка конструкции топливных отсеков III ступени РН «Циклон-4» потребовала новых технических решений с учетом многократного запуска двигателя РД861К. В топливных отсеках применена сложная система обеспечения сплошности компонентов топлива в составе сетчатых разделений, сотовых наполнителей и других узлов, что исключает применение жидкостных методов определения полных объемов баков.

ПАО УкрНИИТМ совместно с ГП ПО ЮМЗ разработали оборудование и методику измерения объемов газовым методом (рис. 3), сущность которого заключается в перепуске газа из эталонной емкости в измеряемую с замером начальных и конечных параметров газа и последующим аналитическим вычислением искомого объема по формулам, устанавливающим связь между давлением, температурой в замкнутой системе и ее объемом. Для обеих измеряемых полостей топливного отсека предусмотрены индивидуальные эталонные емкости. Объемы эталонных емкостей рассчитаны таким образом, чтобы предварительный наддув емкостей осуществлялся до равного давления, а после перепуска газа в обеих полостях устанавливалось также равное (атмосферное) давление. Разработанное оборудование и методика измерения объемов газовым методом, совмещенные с испытаниями отсека на

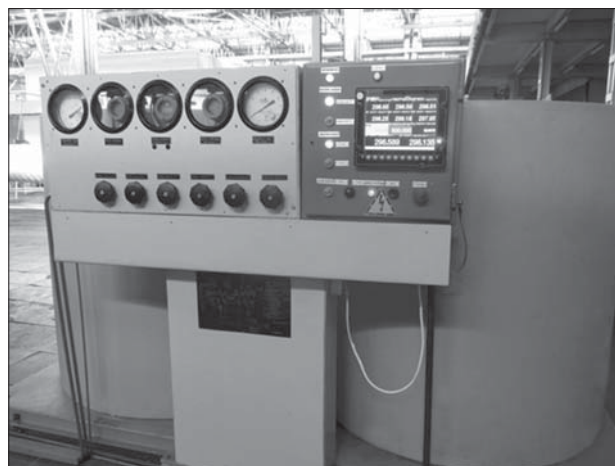


Рис. 3. Установка для измерения объемов газовым методом

герметичность, позволяют обеспечить заданную КД точность (рис. 4).

С целью обеспечения работоспособности двигателя РД861К проведено дооснащение оборудования и внедрение в цехе 23 ГП ПО ЮМЗ технологического процесса автоматизированного нанесения жаропрочного никель-хромового покрытия на критическое сечение камеры сгорания (рис. 5).

Надежность изделий РКТ в значительной мере определяется степенью чистоты узлов и агрегатов, особенно внутренних полостей топливных баков и отсеков, трактов пневмогидросистем, обтекателей. Известно, что для очистки баков и топливных отсеков изделий РКТ на ГП ПО ЮМЗ применяется струйная очистка водными растворами.

Учитывая конструктивные особенности топливных отсеков РН «Циклон-4», а именно расположение люков-лаза, высокая насыщенность конструктивных элементов и затруднительный доступ к очищаемым поверхностям, ПАО УкрНИИТМ проведен комплекс конструкторских и технологических работ по повышению эффективности очистки топливных отсеков.

Разработан и изготовлен ряд усовершенствованных моющих головок, которые являются основным узлом моечного оборудования (рис. 6). Модернизированные моечные головки с реактивными соплами обеспечивают вращение в двух плоскостях, что дает возможность проводить надежную мойку поверхностей элементов конструкции топливных отсеков. Для обеспечения подачи моющих головок в топливные отсеки спроектировано устройство подвода и позиционирования.

С целью изготовления топливных отсеков III ступени РН «Циклон-4» необходимо было решить вопрос приварки магистрального трубопровода окислителя к днищу отсека горючего в труднодоступном ограниченном пространстве. Для решения этой задачи разработана технология и оборудование для автоматизированной сварки замыкающих швов. Установка для сварки замыкающих швов оснащена оригинальной сварочной головкой, обеспечивающей сварку кромок толщиной 3 мм из сплава АМгб со скоростью 5...25 м/ч (рис. 7).

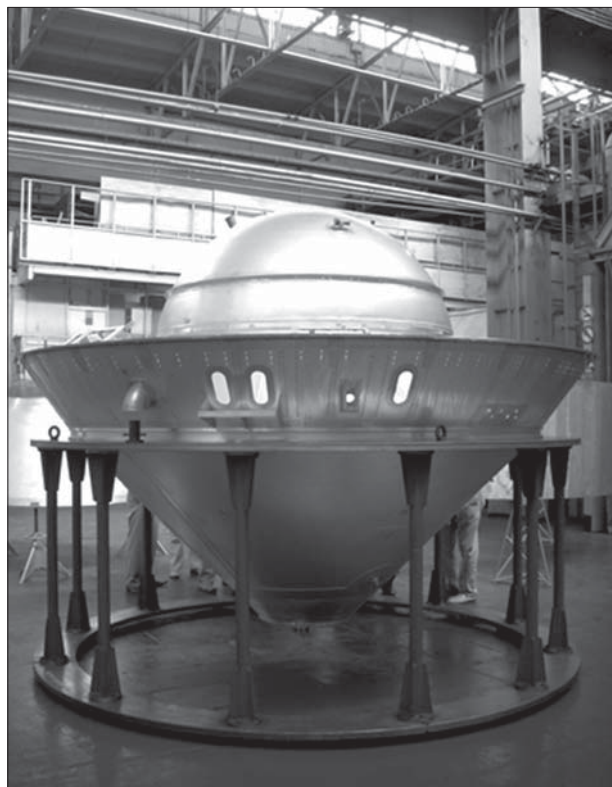


Рис. 4. Топливные отсеки III и IV ступени РН «Циклон-4»

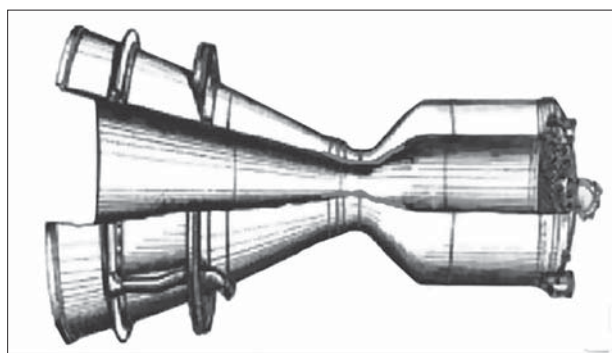


Рис. 5. Никель-хромовое покрытие в камере сгорания

В рамках Общегосударственной целевой научно-технической программы Украины ПАО УкрНИИТМ выполнен комплекс научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ практически по всем технологическим направлениям производства РКТ.



Рис. 6. Моющие головки

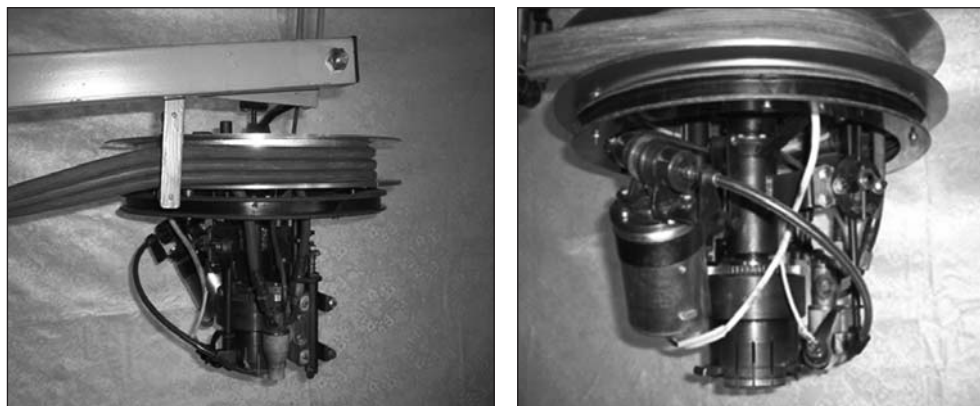


Рис. 7. Сварочная головка

За последние годы институтом разработано 19 новых технологий, 20 комплектов конструкторской документации опытных образцов и технологического оборудования для реализации новых технологий.

По направлению композиционных материалов:

Спроектирован специализированный высокопроизводительный станок для изготовления сферических баллонов из полимерных композиционных материалов (ПКМ) методом намотки (рис. 8). Станок предназначен для нанесения упрочняющей оболочки из ПКМ путем геодезической намотки угле-, органо-, базальто-, стекложгутами на металлические или полимерные лейнеры сферической формы, а также баллонов формы «кокон» диаметром 250—750 мм.

Этот станок позволяет:

- заменить устаревшие тяжелые станки;
- снизить металлоемкость станка в 20...25 раз;
- снизить расход электроэнергии на одно изделие — в 10 раз;
- повысить производительность в 1.6 раза;
- повысить качество и надежность изделия.

Также спроектированы намоточные станки СПН-7, СПН-7М в различном исполнении (одношпиндельный, двухшпиндельный) для изготовления корпусов ракетных двигателей на твердом топливе (РДТТ), сосудов высокого давления, других изделий из ПКМ, имеющих форму тел вращения (рис. 9).

Габариты изделий:

- диаметр до 1000 мм;
- длина до 3000 мм.

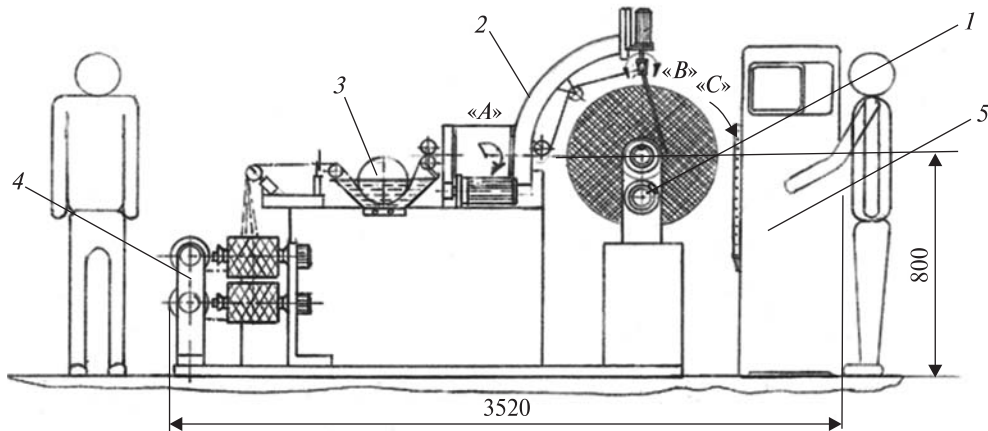


Рис. 8. Станок для изготовления сферических баллонов из полимерных композиционных материалов методом намотки

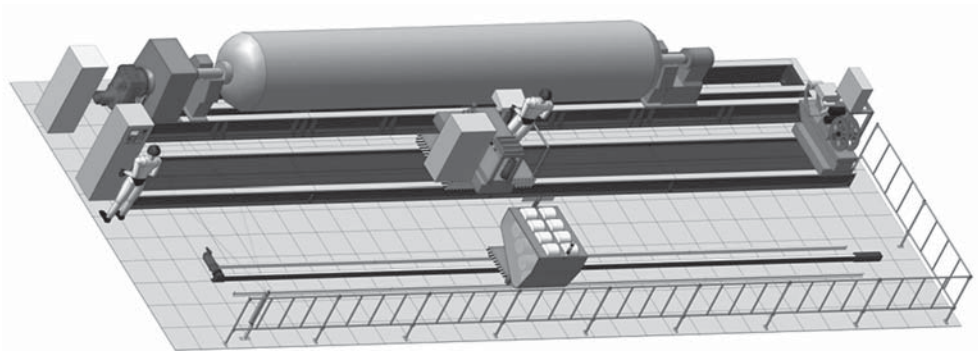


Рис. 9. Намоточные станки для изготовления изделий из полимерных композиционных материалов

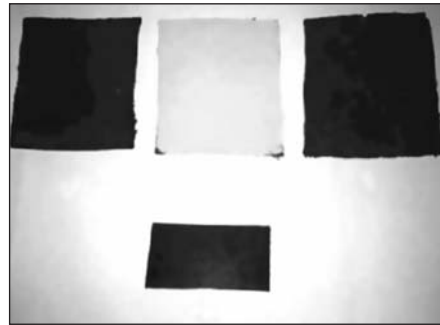


Рис. 10. Образцы полимерных композиционных материалов

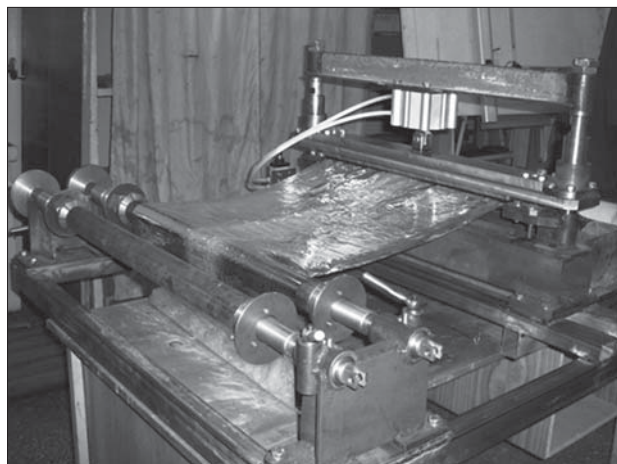


Рис. 11. Установка для автоматизированной обработки материалов

Разработана технология и опытное оборудование для изготовления слоистых пластиков (текстолитов, стекло -, угле-, базальтопластиков) на основе порошкообразных (твердых) связующих.

Технология позволяет:

- снизить себестоимость продукции;
- удалить на 100 % из производства токсичные, взрывоопасные и вредные для организма человека и окружающей среды органические растворители;
- снизить энергозатраты, необходимые для удаления летучих веществ из пропитанной ткани.

Кроме того, данная технология позволяет повысить физико-механические свойства полимерного композиционного материала на 25...40 % (рис. 10).

Технология изготовления слоистых пластиков защищена патентами Украины на изобретение.

В настоящее время в Украине на ГП ПО ЮМЗ при изготовлении экранно-вакуумной теплоизоляции применяется ручная технология. ПАО УкрНИИТМ разработана усовершенствованная экранно-вакуумная теплоизоляция, технологии и оборудование для ее производства.

Установка автоматизированной перфорации полимерной пленки и установка гофрирования и дублирования пленки предназначены для автоматизированной обработки материалов (рис. 11).

Внедрение установок позволит:

- увеличить производительность труда в два раза;
- повысить качество продукции.

С целью повышения физико-механических характеристик ПКМ проведены научно-исследовательские работы по созданию технологии изготовления нового класса наномодифицированных ПКМ аэрокосмического назначения.

Проведены опытные работы по модифицированию полимерной матрицы детонационными наноалмазами и нанотрубками.

Предварительные исследования показали, что модифицирование полимерной матрицы детонационными наноалмазами позволило достичь увеличение разрушающего напряжения стеклопластика при одноосном растяжении на 25 % и при изгибе — на 28 % (при нормальных температурах).

Модифицирование полимерной матрицы углеродными нанотрубками обеспечило увеличение разрушающего напряжения стеклопластика при одноосном растяжении на 22 %, при температуре +150 °С и на 15 % при температуре –196 °С.

Работы по созданию современных материалов целесообразно продолжать совместно с институтами Национальной академии наук Украины.

Внедрение таких материалов позволит снизить массу изделий на 20 %, повысить надежность и эксплуатационный ресурс, что является важным для изделий аэрокосмического назначения.

Институтом проведен комплекс работ по совершенствованию технологии нанесения жаростойких и защитных гальванохимических покрытий. Примером может служить разработка усовершенствованной технологии нанесения жаростойкого никель-хромового покрытия на камеры сгорания жидкостного ракетного двигателя (ЖРД) в зоне критического сечения с использованием платинированных титановых анодов взамен применяемых свинцовых анодов, а также разработанного электролита с наноалмазным синтетическим порошком.

Применяемые в настоящее время технологии обеспечивают недостающую равномерность покрытия порядка 40...50 % из-за пассивации свинцовых анодов и малого межэлектродного расстояния.

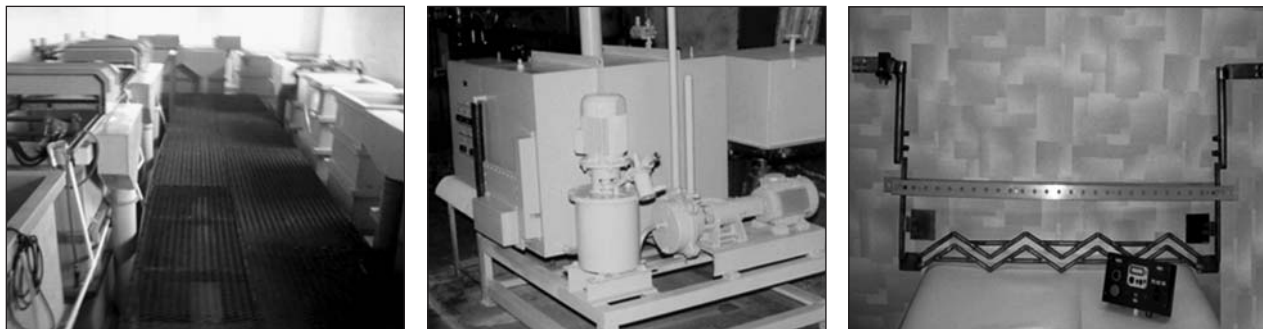


Рис. 12. Малогабаритные установки регенерации электролитов хромирования, универсальные безопасные титановые электронагревательные системы для гальванических ванн

Внедрение разработанной технологии позволяет обеспечить равномерность покрытия более 85 %, увеличение ресурса в 1.5 раза и более за счет увеличения толщины и жаростойкости кластерных покрытий, повысить надежность работы ЖРД, особенно при многократном включении.

До настоящего времени гальванические производства являются экологически вредными за счет наличия гальванических отходов и стоков, которые требуют наличия дорогостоящих очистных сооружений.

Институтом выполнен комплекс работ по созданию экологически чистых энергосберегающих технологий гальванических производств нанесения цинковых, никелевых, хромовых и других покрытий. Разработаны малогабаритные безотходные гальванические комплексы, автоматизированные малогабаритные установки регенерации электролитов хромирования, универсальные безопасные титановые электронагревательные системы для гальванических ванн (рис 12). Внедрение данных технологий позволит сократить потребление воды в 100 раз, исключить сброс загрязненных сточных вод, сократить удельные производственные площади в 1.5...2 раза.

За последние годы значительно повысились требования к качеству и надежности производимой продукции, особенно ракетно-космической техники. В связи с этим стоит задача более широкого внедрения контроля качества узлов и агрегатов, в первую очередь внедрения оборудо-

вания и методов комплексного неразрушающего контроля качества от заготовительного производства до диагностики элементов конструкции в процессе эксплуатации.

Институтом проведены научно-исследовательские работы по разработке новых приборов неразрушающего контроля, совершенствованию методов контроля, в том числе применению бесконтактного метода ультразвукового контроля, разработка современных автоматизированных установок контроля качества металлов и композиционных и материалов. Разработан ультразвуковой дефектоскоп УД 923-АП1 для неразрушающего контроля качества армированных пластиков, углепластика, органо-, стеклопластика, трехслойных конструкций с сотовым наполнителем, неметаллических покрытий на металлическом и неметаллическом основании. Дефектоскоп позволяет выявлять несклеи, расслоения, инородные включения (рис. 13).

С целью обеспечения входного контроля крупногабаритных алюминиевых плит, исключения дефектов на последующих технологических операциях разработана опытная методика неразрушающего контроля качества и технический проект автоматизированной установки бесконтактной ультразвуковой дефектоскопии алюминиевых плит.

Разработанные технические решения позволяют автоматизировать процесс контроля, исключить использование контактной жидкости, проводить контроль без расконсервации плит,



Рис. 13. Ультразвуковой дефектоскоп УД 923-АП1

регистрировать дефекты на поверхности плиты в электронном и бумажном виде.

В данной обзорной статье не представляется возможным рассмотреть весь объем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по совершенствованию технологии и оборудования для производства РКТ, раскрыть особенности и новизну выполненных работ.

Созданный научно-технический задел по совершенствованию технологий и технологического оборудования позволит в будущем гарантировать повышение характеристик разрабатываемой и производимой ракетно-космической техники, внести вклад в обеспечение ее конкурентоспособности на мировом рынке.

1. Висновок про видачу деклараційного патенту на винахід за результатами формальної експертизи на заявку 20031212682. Верстат для спірального намотування виробів з композиційних матеріалів. — Заявл. 29.12.2003 р.
2. Пат. 80218 С2 UA, МПК, В32В 17/12, В29В 15/10. Спосіб виробництва шаруватого матеріалу / І. Є. За-

ворітько, М. А. Малий, В. В. Шелухін та ін. — Оpubл. 27.08.2007 р., Бюл. № 13.

3. Пат. 86703 С2 UA, МПК, В32В 27/00. Спосіб виготовлення виробу з полімерних композиційних матеріалів / І. Є. Загорітько, М. А. Малий, П. М. Желтов, В. В. Луговський. — Оpubл. 12.05.2009 р., Бюл. № 9.
4. Пат. 89089 С2 UA, МПК, G01F 11/00, G01F 13/00. Дозатор для порошкоподібних матеріалів / І. Є. Загорітько, С. О. Засуха, П. М. Желтов та ін. — Оpubл. 25.12.2009 р., Бюл. № 24.
5. Пат. 66462 U UA, МПК, В29С 51/10, В29С 51/18. Установка гофрування та дублювання плівки / П. М. Желтов, С. О. Засуха, Л. П. Семенов та ін. — Оpubл. 10.01.2012 р., Бюл. № 1.
6. Пат. 71723 U UA, МПК, G01N 29/04. Спосіб ультразвукового контролю великогабаритних алюмінієвих плит / О. Л. Серебренніков, П. М. Желтов, А. Б. Закарлюка та ін. — Оpubл. 25.07.2012 р., Бюл. № 14.

Стаття надійшла до редакції 20.10.14

П. М. Желтов, В. І. Дюков, Л. П. Семенов, В. В. Харченко

РОЗРОБКА СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ

Викладено результати науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт із удосконалення технології та устаткування для виробництва ракетно-космічної техніки. Роботи направлено на підвищення технологічності конструкцій, забезпечення надійності виробів, зменшення собівартості виробництва.

P. N. Zheltov, V. I. Diukov, L. P. Semenov, V. V. Kharchenko

DEVELOPMENT OF MODERN TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT FOR PRODUCTION OF ROCKET AND SPACE TECHNOLOGY

The article presents the results of research and development work to improve the technology and equipment for production of rocket and space technology. Work aimed at improving the manufacturability of designs, ensuring the reliability of the products, lowering production costs.

УДК 621.05

А. П. Верещак, А. Б. Данилин, А. Н. Зайченко, Е. Е. Малафеев

Публічне акціонерне товариство «АТ Науково-дослідний інститут радіотехнічних вимірювань», Харків

ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «АО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ» — ВЕДУЩЕЕ ПРЕДПРИЯТИЕ УКРАИНЫ В ОБЛАСТИ КОСМИЧЕСКОГО РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Приведена история создания Публичного акционерного общества «АО Научно-исследовательский институт радиотехнических измерений». Рассмотрены результаты создания в АО НИИРИ бортовых радиоэлектронных подсистем обеспечения функционирования космических аппаратов и бортовых подсистем полезной нагрузки. Приводятся основные технические характеристики наземной и бортовой аппаратуры совмещенных командно-телеметрических измерительных радиолиний, созданных АО НИИРИ. Представлен краткий обзор основных технических характеристик станций приема информации со спутников дистанционного зондирования Земли, разработанных АО НИИРИ.

ИСТОРИЯ ИНСТИТУТА

История создания института ведет начало с 1953 г., когда в г. Харькове на заводе им. Т. Г. Шевченко было создано Особое конструкторское бюро № 285. С 1957 по 1968 гг. коллектив института входил в состав Особого конструкторского бюро № 692, позднее КБ электроприборостроения (в настоящее время — ОАО «Хартрон»). В сентябре 1968 г. коллектив института получил статус самостоятельного предприятия — «Украинского филиала научно-исследовательского института измерительной техники» (УФНИИИТ). В марте 1986 г. УФНИИИТ был преобразован в «Научно-исследовательский институт радиотехнических измерений» (НИИРИ), в декабре 1995 г. — в Открытое акционерное общество «АО Научно-исследовательский институт радиотехнических измерений», а в апреле 2011 г. — в Публичное акционерное общество АО НИИРИ.

Начиная с 1960-х годов, коллектив института принимал участие в создании ряда высокоточ-

ных фазометрических систем для обеспечения испытаний ракет и носителей космических аппаратов всех типов, а также в разработке и изготовлении бортовой аппаратуры для радиолокационных и радиометрических измерений физических характеристик поверхности океана, которая использовалась на космических аппаратах серий «Космос» и «Океан». За эти работы ведущим специалистам НИИРИ была присуждена Государственная премия СССР (1983 г., 1989 г.).

Радиотехнические приборы, разработанные и изготовленные в институте, были размещены на космических станциях «Салют» и «Мир», а также на ракете-носителе «Энергия», которая вывела на околоземную орбиту корабль многоразового использования «Буран».

В соответствии с первой Государственной космической программой Украины НИИРИ обеспечил формирование и модернизацию наземного автоматизированного комплекса управления космическими аппаратами Украины, который управлял полетом первого отечественного космического аппарата «Січ-1», микроспутника МС1 и КА МС-2 ... МС-8. В 1996 г. деятельность коллектива института была отмечена Государст-

© А. П. ВЕРЕЩАК, А. Б. ДАНИЛИН, А. Н. ЗАЙЧЕНКО,
Е. Е. МАЛАФЕЕВ, 2014

венной премией Украины. Коллектив института принимал участие в создании бортовой аппаратуры египетского КА «EgyptSat» и наземной станции для его управления.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТ ПРЕДПРИЯТИЯ В КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

1. Космическое приборостроение. В рамках этого направления предприятием разрабатываются:

1.1. Командно-измерительные комплексы (бортовая аппаратура — БА, контрольно-проверочная аппаратура — КПА и наземные станции — НС) управления космическими аппаратами (КА).

1.2. Системы телеметрических измерений (БА и КПА) для КА и перспективных ракет-носителей (РН).

1.3. Специальные информационные радиолнии (БА, КПА, НС).

1.4. Бортовые связные транспондеры Store&Forward КА (БА, КПА и наземные терминалы пользователя).

1.5. Аппаратура спутниковой навигации КА и РН (БА и КПА).

1.6. Аппаратура (БА и КПА) дистанционного зондирования Земли (радиолокаторы бокового обзора РЛС БО, радиометры).

1.7. Универсальные наземные станции приема информации от КА дистанционного зондирования Земли.

1.8. Блоки, приборы и системы СВЧ для радиолокаторов (РТ-70, г. Евпатория).

2. Системы специального назначения.

2.1. Многопараметрические системы высокоточных траекторных измерений (ВТИ) космических и авиационных объектов (БА, КПА и НС).

АО НИИРИ создал ряд систем траекторных измерений, в том числе и высокоточную фазометрическую систему траекторных измерений типа «Вега-Н(К)». Оснащение этой системой как базовой траекторной измерительной системой всех космодромов сыграло заметную роль в отработке многих космических программ.

2.2. Система координатно-временного и навигационного обеспечения Украины (СКНОУ) — по заказу ГКАУ предприятием создана, развер-

нута и введена в эксплуатацию в Украине система (контрольно-корректирующие станции, региональные пункты контроля навигационного поля, основной и резервный центры контроля навигационного поля), являющаяся дифференциальным дополнением спутниковых радионавигационных систем (СРНС) и обеспечивающая круглосуточный непрерывный мониторинг радионавигационных полей СРНС GPS, ГЛОНАСС, EGNOS, а также расчет и доставку потребителям дифференциальной корректирующей информации, позволяющей осуществлять навигационные параметры потребителя с точностью 1–2 м по координатам в реальном масштабе времени на всей территории Украины.

2.3. Системы и средства геофизического мониторинга.

В рамках этого направления совместно с компанией Science Application International Corporation (США) ОАО АО НИИРИ выполнял работы по созданию на базе Украинской сейсмической группы (Житомирская область) станции сейсмического мониторинга (по международной классификации — PS-45), которая затем была включена в состав международной сети станций контроля за испытаниями ядерного оружия Организации договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний.

ОАО АО НИИРИ также разработало ряд программно-аппаратных средств для технического переоснащения служб Главного центра специального контроля национального космического агентства Украины.

БОРТОВАЯ АППАРАТУРА И НАЗЕМНЫЕ СТАНЦИИ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ УКРАИНЫ, РАЗРАБОТАННЫЕ ПРЕДПРИЯТИЕМ

При выполнении первой украинской космической программы одним из приоритетных направлений являлось создание микроспутников. Были созданы и запущены отечественные микроспутники МС1 и КА МС-2 ... МС-8. Необходимые для управления этими спутниками командные и телеметрические системы, наземные станции управления пришлось разрабатывать фактически заново.

В ОАО АО НИИРИ были разработаны и созданы два типа совмещенных командно-телеметрических измерительных радиолиний (СКТРЛ):

- СКТРЛ МС1 для управления первым отечественным микроспутником МС1.

Бортовая аппаратура (БА) и наземная станция (НС) этой системы была модернизирована (НС СКТРЛ-М) для управления вторым отечественным микроспутником КА МС-2 ... МС-8.

Таблица 1. Технические характеристики СКТРЛ МС1 и СКТРЛ для управления КА МС-2 ... МС-8

СКТРЛ МС1 обеспечивает связь между КА и НС на орбитах с высотой до 1000 км, при углах места 7° и более, любом азимуте, ориентированного и неориентированного положения КА	
СКТРЛ МС-2 ... МС-8 обеспечивает связь между КА и НС на орбитах с высотой до 700—800 км, при углах места 5° и более, любом азимуте, ориентированного и неориентированного положения КА	
Диаметр основной антенны НС СКТРЛ МС1	3 м
Диаметр антенны пеленгатора НС СКТРЛ МС1	1.8 м
Диаметр антенны НС СКТРЛ МС-2 ... МС-8 (используется одна антенна для информационного канала и пеленгатора)	3 м
Частотная полоса для линии «Земля — борт»	2025...2110 МГц
Частотная полоса для линии «борт — Земля»	2200...2290 МГц
Время вхождения в радиосвязь	~3—5 с для СКТРЛ МС1 ~1 с для СКТРЛ МС-2 ... МС-8
Техническая скорость передачи информации	
по каналу «Земля — борт»	1 Кбит/с для СКТРЛ МС1 32 Кбит/с для СКТРЛ МС-2 ... МС-8
по каналу «борт — Земля»	32 Кбит/с
Вероятность сбоя на символ принимаемой информации	
по каналу «Земля — борт»	10 ⁻⁷
по каналу «борт — Земля»	10 ⁻⁵
Предельная погрешность измерения:	
по радиальной скорости	0.1 м/с для СКТРЛ МС1 0.05 м/с для СКТРЛ МС-2 ... МС-8
по дальности	50 м
Предельная погрешность сверки бортовой шкалы времени с наземной шкалой	1 мс
СКТРЛ обеспечивает автоматическую перестройку с одного КА на другой и вхождение в связь с новым КА за время	1 мин
Сопровождение КА осуществляется в режиме автосопровождения или по целеуказаниям	
Управление работой НС автоматизировано	
Состав обслуживающего персонала	5 человек
Средний срок службы НС	10 лет
Гарантийный срок	5 лет
Средний ресурс	10000 ч



Рис. 1. Антенное устройство НС СКТРЛ МС-2 ... МС-8

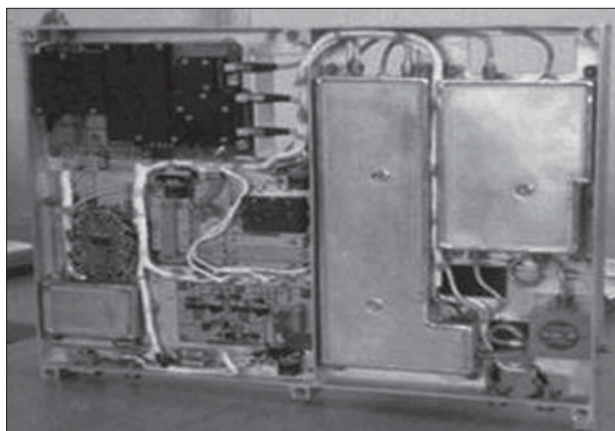


Рис. 2. Бортовая аппаратура СКТРЛ МС-2 ... МС-8

Разработанные СКТРЛ обеспечивают:

- связь КА с НС по радиоканалам «Земля — борт» и «борт — Земля» в S-диапазоне;
- передачу и прием по каналу «Земля — борт» командно-программной информации (КПИ)

и выдачу КПИ в бортовой цифровой вычислительный комплекс (БЦВК);

- передачу по каналу «борт — Земля» квитанций БЦВК;
- сверку наземной шкалы времени (НШВ) с бортовой шкалой времени (БШВ), формируемой в БЦВК, и выдачу в центр управления полетом (ЦУП) результатов сверки;
- передачу и прием по каналу «борт — Земля» телеметрической информации;
- передачу и прием массивов данных по каналам «Земля — борт», «борт — Земля»;
- измерение текущих навигационных параметров (ИТП) КА — наклонной дальности (R) и радиальной скорости ($\dot{R}$) КА;
- поочередное выполнение всех задач для 10 КА одновременно находящихся на орбите.

Технические характеристики СКТРЛ МС1 и СКТРЛ для управления КА МС-2 ... МС-8 приведены в табл. 1.

Бортовая аппаратура СКТРЛ совместно с бортовым антенно-фидерным устройством предназначена для установки на микроспутниках, малых и средних спутниках для решения совместно с НС СКТРЛ задач управления, телеконтроля и траекторных измерений КА. При этом БА СКТРЛ обеспечивает прием и излучение сигналов в направлении НС при произвольном положении спутников.

Таблица 2. Технические характеристики БА СКТРЛ МС1 и БА СКТРЛ МС-2 ... МС-8

Частотная полоса для линии «Земля — борт»	2025...2110 МГц
Частотная полоса для линии «борт — Земля»	2200...2290 МГц
Вид модуляции	MSK
Мощность бортового передатчика	0.5 Вт
Чувствительность приемного устройства	минус 144 дБ Вт
Энергопотребление	20 Вт
Объем аппаратуры	5 дм ³
Масса	5 кг
Характер резервирования	полное холодное резервирование
Защита от несанкционированного доступа	имеется

Технические характеристики БА СКТРЛ МС1 и БА СКТРЛ МС-2 ... МС-8 приведены в табл. 2.

На рис. 1 показано антенное устройство НС СКТРЛ МС-2 ... МС-8; на рис. 2 — БА СКТРЛ МС-2 ... МС-8.

В соответствии с требованиями ТЗ НС СКТРЛ должна обеспечить радиосвязь со спутником на больших дальностях (до 3000 км для СКТРЛ МС1, до 2800 км для СКТРЛ МС-2 ... МС-8, при точности измерения дальности $\delta_r < 50$ м, радиальной скорости $\delta_r < 0.1$ м/с (для СКТРЛ МС-2 ... МС-8 $\delta_r < 0.05$ м/с) и достаточно большую скорость передачи информации (32 кбит/с).

БОРТОВАЯ АППАРАТУРА СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ, РАЗРАБОТАННАЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ

В результате проведенных работ на предприятии создана аппаратура спутниковой навигации (АСН), соответствующая современному техническому уровню в области космической техники. Разработанная АСН устанавливалась на КА (Сич-1М, МС1, «EgyptSat-1», МС-2 ... МС-8) и ракетносителях (РН) (РН «Днепр», «Циклон-4»).

Применение АСН на борту КА (РН) позволяет решать следующие задачи:

Таблица 3. Основные технические характеристики БА АСН

Наименование параметра	Значение параметра
Частота принимаемого сигнала	1575.42 МГц
Чувствительность	-160 дБВт
Потребляемая мощность	5 Вт
при «холодном» старте (первое включение)	35 мин
при «теплом» старте (повторное включение после потери питания связи со спутниками на время не более 5 мин)	3 мин
при «горячем» старте (после потери радиосвязи на время не более 3 с)	8...15 с
Предельная погрешность навигационных определений:	
по координатам, не более	15 м
по проекциям вектора скорости, не более	0.5 м/с
Объем	0.90 дм ³
Масса	1.5 кг

- определение в реальном масштабе времени координат, составляющих вектора скорости и сдвига часов АСН по сигналам глобальной спутниковой навигации системы NAVSTAR (GPS);

- формирование и выдачу в подсистему управления КА (РН) секундной метки в шкале UTC;
- формирование телеметрической информации и передачу ее в пункт управления.

Основные технические характеристики БА АСН показаны в табл. 3.

БОРТОВАЯ АППАРАТУРА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ КА И СТАНЦИИ ПРИЕМА ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

В результате проведенных работ создана высокоскоростная аппаратура передачи данных полезной нагрузки спутника, соответствующая современному техническому уровню в области космической техники.

Бортовая аппаратура передачи информации полезной нагрузки X -диапазона является составной частью информационной радиолнии космического аппарата и работает в X -диапазоне — 8025...8400 МГц.

Указанная аппаратура обеспечивает передачу на наземную станцию приема данных (НСПД) группового информационного потока со скоростью 30.72 Мбит/с, поступающего от полезной нагрузки.

Для радиолнии выбран вид модуляции QPSK со сдвигом (OQPSK), позволяющий обеспечить эффективность использования занимаемой полосы частот и минимальные искажения спектра сигнала при прохождении его через нелинейные цепи передатчика (минимальный уровень амплитудной модуляции сигнала).

Энергетическая эффективность бортовой аппаратуры X -диапазона повышена за счет сверточного кодирования. Энергетический выигрыш сверточного кодирования при реализованных кодовой скорости $R = 1/2$, длине кодового ограничения $k = 7$ и использовании мягкой схемы принятия решений в ходе декодирования по алгоритму Витерби в декодере наземной станции составляет 5.3 дБ при коэффициенте ошибки передачи информации $P = 10^{-6}$.

Таблица 4. Основные технические характеристики аппаратуры передачи информации полезной нагрузки

Параметр	Значение параметра
Частота несущего колебания выходного сигнала, в пределах	8025...8400 МГц
Мощность излучаемого сигнала, не менее	3.5 Вт
Максимальный коэффициент усиления бортовой антенны	6 дБ
Нестабильность частоты несущего колебания выходного сигнала	$5 \cdot 10^{-7}$
Вид модуляции выходного сигнала	OQPSK
Кодирование	сверхточное ($R = 1/2$)
Информационная скорость передачи данных	30.72 Мбит/с
Техническая скорость передачи информации	61.44 Мбит/с
Ширина рабочей полосы излучаемого сигнала	61.44 МГц
Коэффициент ошибки при передаче информации	10^{-6}
Напряжение электропитания	24...34 В
Потребляемая мощность, не более в рабочем режиме и режиме тестирования	50 Вт
в режиме хронизатора	5 Вт
Масса БА без АФУ	5.35 кг
Масса БА с АФУ	7.08 кг
Габаритные размеры	380×326×60 мм
Время непрерывной работы, не более	12 мин
Характер резервирования	однократное ненагруженное (кроме АФУ)
Вероятность безотказной работы: для трех лет активного существования	0.97
для пяти лет активного существования	0.96

Для повышения надежности работы системы синхронизации и декодера наземной станции в аппаратуре X-диапазона применено скремблирование.

Аппаратура передачи информации полезной нагрузки обеспечивает решение следующих задач:

- формирование высокостабильного радиосигнала несущей частоты;

Таблица 5. Технические характеристики УН СПИ-8.2

Параметр	Номинальное значение
Несущая частота принимаемого радиосигнала изображения	Оперативно перестраивается в пределах рабочего диапазона 8025...8400 МГц, шаг перестройки 150 кГц
Имеющиеся миссии спутников	MC-2 ... MC-8, «Сич-1М», «Сич-3», «Envisat-1», «Landsat-7», «Ikonos-1», QuickBird, OrbView-3
Радиус зоны приема сигналов	2500 км
Количество независимых частотных каналов приема	2
Модуляция радиосигнала	BPSK, SQPSK, AQPSK
Максимальная скорость демодуляции принятого сигнала в каждом канале	320 Мбит/с
Коэффициент ошибки на бит данных	10^{-6}
Диаметр рефлектора	12 м
Коэффициент усиления антенны	56.7 ± 1.5 дБ
Наведение антенны	Программное, по сигналам рассогласования пеленгатора
Пределы вращения антенны: азимутальная ось	$0...+270^\circ$, $0...-270^\circ$;
угломестная ось	$+5^\circ...+85^\circ$

- фазовую модуляцию радиосигнала информационным цифровым потоком;
- усиление по мощности промодулированного радиосигнала;
- формирование тестового сигнала ПСП;
- формирование синхрочастот;
- формирование телеметрических сигналов.

Указанная аппаратура работает в трех режимах: 1) «рабочий режим», 2) «режим хронизатора», 3) «режим тестирования».

В рабочем режиме аппаратура X-диапазона передает на наземную станцию приема данных информационный поток, поступающий от ПДПН. В режиме синхронизации аппаратура X-диапазона формирует для ПДПН синхрочастоты 30.72 МГц и 46.08 МГц для обеспечения ее работы в режиме записи информации вне зоны

Таблиця 6. Телеметричні характеристики РПУ S-діапазона і ВІП

Параметр	Значення параметра
<i>Радіопередаючі пристрої</i>	
Діапазон частот	2200...2300 МГц
Кількість частотних літер	2
Мощність випромінюваного сигналу	10 Вт
Швидкість передачі інформації	64...2048 Кбіт/с
Вид модуляції	OQPSK
Вероятність помилки на біт передаваної інформації	10^{-6}
Енергопотреблення	75 Вт
Маса, не більше	3 кг
Об'єм, не більше	2 дм ³
<i>ВІП</i>	
Діапазон частот прийому інформації	2200...2290 МГц
Мінімальна нахилна дальність прийому сигналів	15 км
Максимальна нахилна дальність прийому сигналів	2500 км
Вероятність помилки на біт приймаємої телеметричної інформації	10^{-5} / 1 біт
Модуляція приймаємого сигналу, вид	QPSK, OQPSK
Швидкість приймаємої інформації	64...2048 кбіт/с
Час реєстрації	900 с
Потреблявана потужність, не більше	2 кВА

радиовидимості супутника наземної станції прийому даних корисної навантаження. При цьому в апаратурі Х-діапазона включаються тільки пристрої формування синхрочастот. В режимі тестування апаратура Х-діапазона формує-

ет і передає тестову інформацію для забезпечення незалежного контролю її функціонування.

Основні технічні характеристики апаратури передачі інформації корисної навантаження наведені в табл. 4.

Для наземного прийому інформації корисної навантаження вказаних супутників КА МС-2-8, перспективного українського супутника «Січ-3» і зарубіжних існуючих і перспективних супутників ДЗЗ підприємством була створена уніфікована наземна станція прийому інформації (розташована в г. Дунаєвці Хмельницької області).

Технічні характеристики УН СПИ-8.2 представлені в табл. 5.

СИСТЕМИ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ, РАЗРАБОТАННЫЕ ПРЕДПРИЯТИЕМ

Для забезпечення телеметричних вимірювань при запуску РН підприємством розроблені: радіопередаючі пристрої (РПУ) радіоволн для передачі телеметрії (РПУ S-діапазона для РКН «Циклон-4»), а також мобільна система прийому телеметрії (ВІП) для забезпечення запусків КА РН на неоснащених трасах пусків.

Телеметричні характеристики РПУ S-діапазона і ВІП представлені в табл. 6.

В наші часи інститут проводить роботи в рамках реалізації проектів з Державним космічним агентством України, ГКБ «Южне», НПП «Хартрон-Аркас» і др. Розроблена і розроблювана інститутом апаратура буде встановлюватися на перспективних українських космічних апаратах і ракетах-носітелях.

Стаття надійшла до редакції 22.10.14

*А. П. Верещак, А. Б. Данилин,
А. Н. Зайченко, Е. Е. Малафеев*

ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО
«АТ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ
РАДІОТЕХНІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ» —
ПРОВІДНЕ ПІДПРИЄМСТВО УКРАЇНИ
У ГАЛУЗІ КОСМІЧНОГО РАДІОЕЛЕКТРОННОГО
ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

Приведено історію створення Публічного акціонерного товариства «АТ Науково-дослідний інститут радіотехнічних вимірювань». Розглянуто результати створення в АТ НДІРВ бортових радіоелектронних підсистем забезпечення функціонування космічних апаратів і бортових підсистем корисного навантаження. Приводяться основні технічні характеристики наземної та бортової апаратури суміщених командно-телеметричних вимірювальних радіоліній, створених в АТ НДІРВ. Подано короткий огляд основних технічних характеристик станцій приймання інформації зі супутників дистанційного зондування Землі, розроблених в АТ НДІРВ.

*A. P. Vereshchak, A. B. Danilin,
A. N. Zaichenko, E. E. Malafeev*

PUBLIC JOINT STOCK COMPANY
«JSC SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE
OF RADIO ENGINEERING MEASUREMENTS»,
THE LEADING UKRAINIAN ENTERPRISE
IN THE FIELD OF SPACE RADIO-ELECTRONIC
INSTRUMENT MAKING

The history of the Public Joint Stock Company «JSC Scientific Research Institute of Radio Engineering Measurements» foundation is described. We consider the results of creation of on-board radio-electronic spacecraft maintenance subsystems and on-board spacecraft payload subsystems at the JSC SRIREM. We present key technical characteristics of ground-based and on-board equipment within the combined command and telemetry radio lines (TT&C) which were developed by the JSC SRIREM company. A short overview of the key technical characteristics of receiving stations obtaining data from remote Earth sensing satellites which were developed by the JSC SRIREM company is given.

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 навколоземного 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 навколоземно-

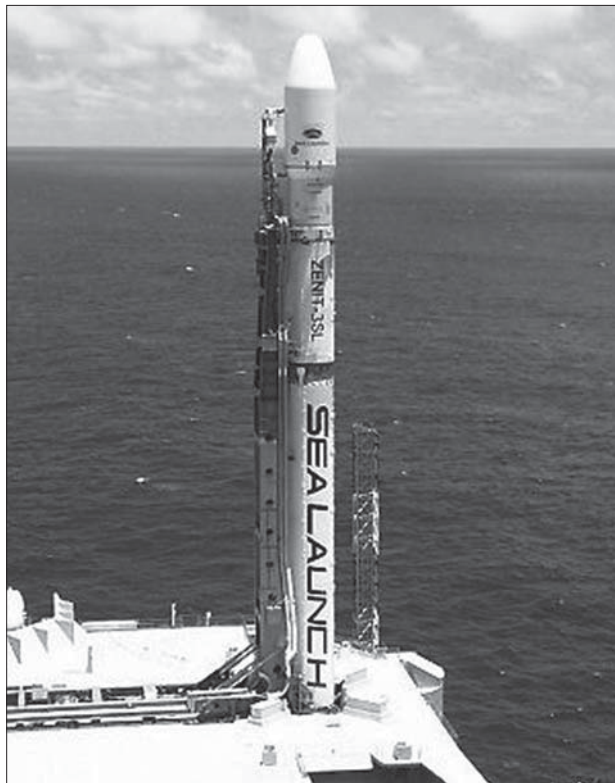


Рис. 1. Ракета-носій «Зеніт»

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

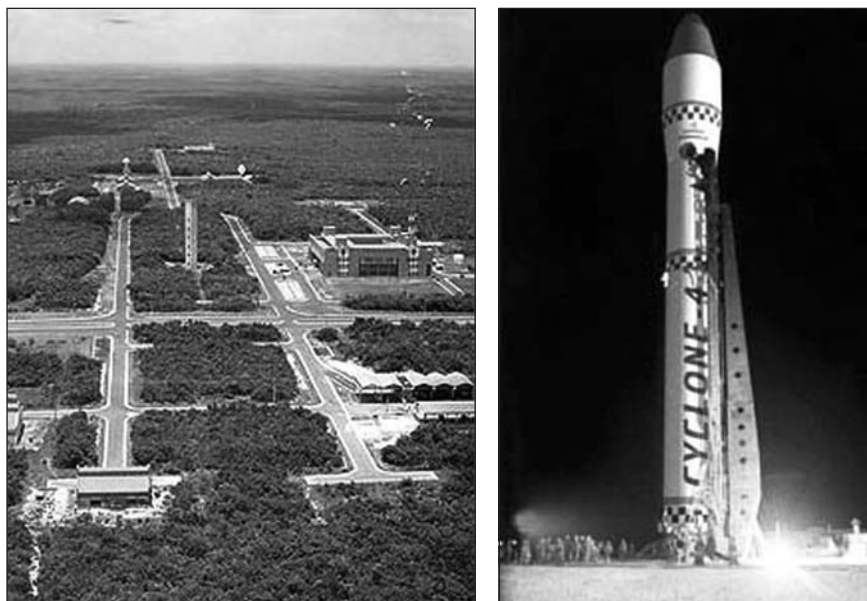


Рис. 2. Космодром Алькантара в Бразилії

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.

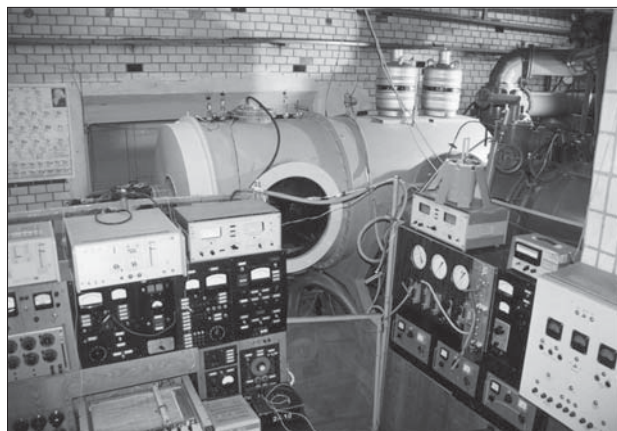


Рис. 3. Плазмоелектродинамічний стенд

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 плазмозодинамічну взаємодію з навколооб'єктовим середовищем, магнітозодинамічну (силову та теплову) дію потоків плазми та випромінювання на системи і елементи конструкції КА, розсіяння та дифракцію електромагнітних хвиль радіолокаційного діапазону та систем зв'язку на елементах конструкції, 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 високовольної диференційної електризації, накопичення та нейтралізації об'ємних

і поверхневих зарядів, електричних пробіів 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 високовольних 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 високовольною 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.

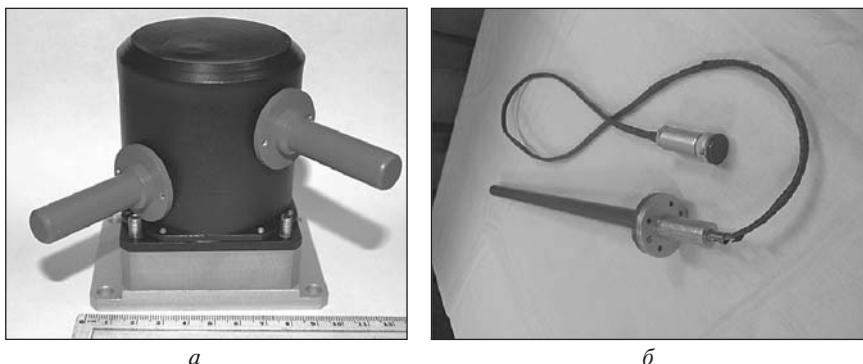


Рис. 4. Діагностична апаратура КА «Січ-2»: а — детектор нейтральних часток (DN), б — детектор заряджених часток (DE)

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 плазових струменів електрореактивних двигунів на орбіті [27].

В режимі роботи стенду, що поєднує властивості плазової 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 плазовими 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 теплосахисту 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-

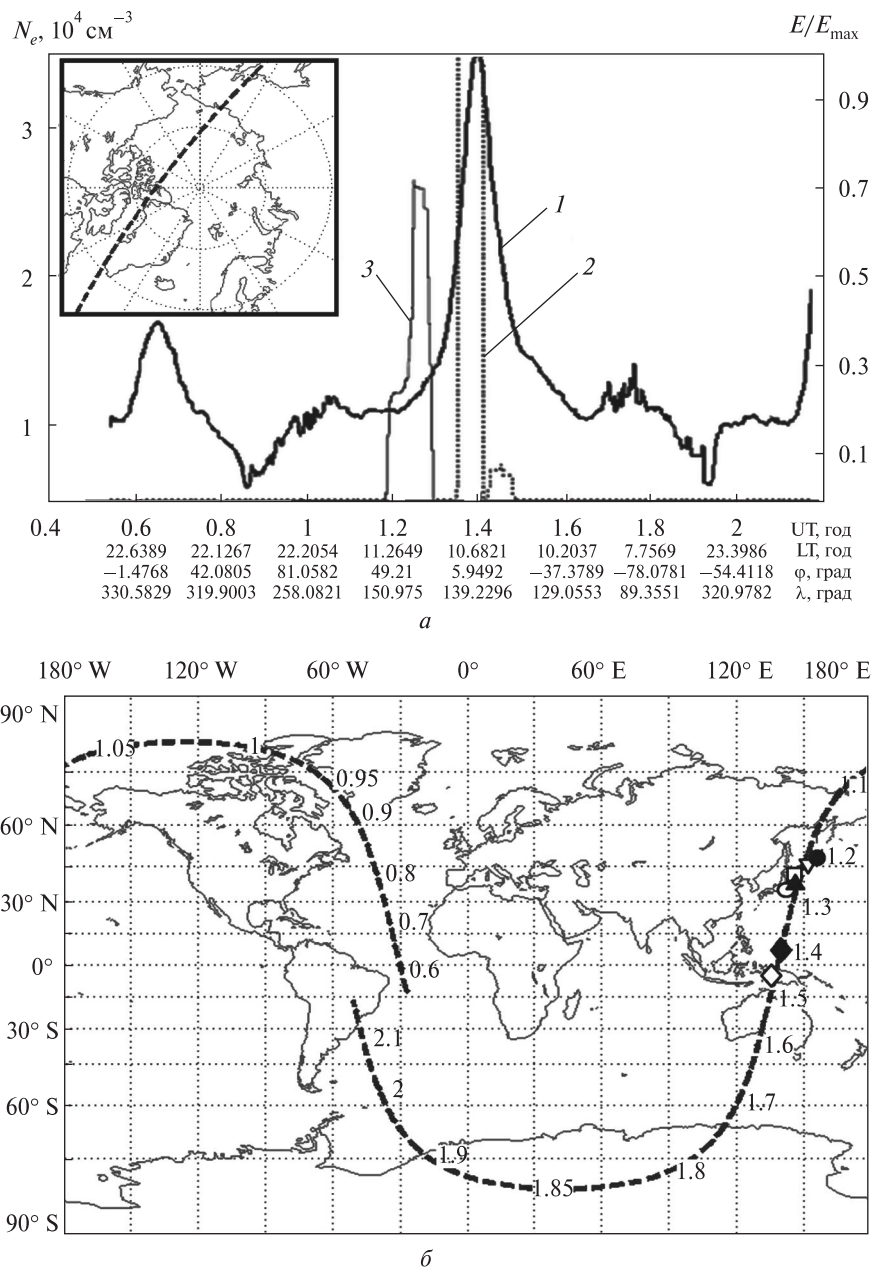


Рис. 5. Розподіл концентрації електронів і енергії землетрусів уздовж траєкторії КА «Січ-2» 01.09.2011 р.: а — епіцентрів землетрусів, б — вивержень вулканів на підсупутниковій трасі

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 експериментального відпрацювання багатоцільових 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 фазорозподільовачів з урахуванням просторових рухів компонентів палива; оцінювати параметри процесів спорожнення 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 розташовано 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 методику 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 рідинних ракетних палив; робастні алгоритми систем орієнтації космічних апаратів та ін.

1. Алпатов А. П. Подвижное управление механическими системами. — Київ: Наук. думка, 1998. — 246 с.
2. Алпатов А. П., Басс В. П., Баулин С. А. и др. Технологическое засорение околоземного космического пространства: Отраслевое пособие. — Днепропетровск: Пороги, 2012. — 378 с.
3. Алпатов 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. Алпатов 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. Алпатов 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. Алпатов А. П., Прокопчук Ю. А., Ющенко О. В. и др. Информационные технологии в образовании и здравоохранении. — Днепропетровск: ИТМ НАНУ, 2008. — 287 с.
7. 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.
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.

УДК 629.78

А. П. Алпатов, В. Т. Марченко, П. П. Хорольський, Н. П. Сазіна

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

МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ФІНАНСОВО-ЕКОНОМІЧНОГО ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТІВ КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ

Описано методологічний підхід до фінансово-економічного обґрунтування проектів зі створення космічної техніки за показниками затрат, економічної і технічної ефективності та ризиків.

ВСТУП

Метою фінансово-економічного обґрунтування науково-технічних проектів є визначення очікуваних числових значень ключових показників, на основі яких приймається рішення щодо доцільності фінансування проектів. Як ключові показники на практиці, як правило, використовуються: витрати на реалізацію проекту, показники його ефективності та технічного рівня, а також рівень ризику. Для фінансово-економічного обґрунтування інвестиційних проектів цивільного призначення на сьогодні створено методичну базу розрахунку їхньої ефективності, наприклад [1, 6, 9]. На жаль, ця методична база не може бути використана для інноваційних науково-технічних проектів зі створення та експлуатації зразків новітньої космічної техніки через їхню унікальність. Для фінансово-економічного обґрунтування таких проектів, призначення яких здебільшого не є суто цивільним, необхідне розроблення спеціальної методології, концептуальні основи якої приводяться в даній статті. Під методологією тут розуміється система основних положень та загальних підходів для створення методичної бази щодо проведення розрахунків з фінансово-економічного обґрунтування майбутніх космічних проектів і програм.

Основні особливості космічної техніки (КТ), які визначають технічну суть методологічного підходу до фінансово-економічного обґрунтування проектів:

- космічні системи (КС), ракетно-космічні комплекси (РКК), космічні апарати (КА), ракети-носії (РН) і космічні прилади є унікальними технічно складними системами, що вимагають значних фінансових, матеріально-технічних і трудових затрат для їхнього створення та експлуатації;
- космічні системи і ракетно-космічні комплекси, як правило, є технічними системами подвійного призначення;
- космічні апарати й ракети-носії, що входять до складу КС і РКК відповідно, є невідновлюваними виробами, а отже, повинні мати високий рівень надійності функціонування. Гарантійний строк експлуатації КА сьогодні сягає 10–15 років;
- ефективність функціонування зразків космічної техніки досягається, в першу чергу, за рахунок використання новітніх досягнень науки й техніки;
- інтервал зміни поколінь базових конструкцій становить: для РН — 20–30 років, а для КА й космічних приладів — 10–15 років;
- космічні апарати й наземне устаткування космодромів є виробами одиничного або повторюваного одиничного виробництва, а РН — виробами повторюваного дрібносерійного виробництва.

© А. П. АЛПАТОВ, В. Т. МАРЧЕНКО, П. П. ХОРОЛЬСЬКИЙ,
Н. П. САЗІНА, 2014

Труднощі кількісної оцінки ефективності проєктів:

- відсутність, як правило, близьких аналогів РКК чи КС, а якщо такі і є, то у більшості випадків інформація про них недоступна з причин її конфіденційності;
- відсутність загально визнаних критеріїв і показників ефективності проєктів;
- відсутність у повному обсязі вхідних даних, та навіть якщо дані є, то вони мають здебільшого відносно високий ступінь недостовірності;
- при розрахунках величини очікуваного корисного ефекту необхідно використовувати дані, які є прогнозними, з горизонтом до 10—15 років для космічних систем і 15—20 років для космічних ракетних комплексів.

Основними об'єктами фінансово-економічного обґрунтування є [5]:

- ракетно-космічні комплекси;
- космічні засоби спостереження Землі із космосу;
- супутникові системи зв'язку та мовлення;
- ракети-носії та їхні складові частини;
- космічні апарати різного призначення та їхні складові частини тощо.

Прийняття рішення щодо доцільності реалізації проєкту проводиться на основі результатів аналізу значень показників критерію ефективності, що являє собою формалізований аналітичний вираз, який об'єднує в систему основні техніко-економічні показники, і в першу чергу очікувані витрати, економічну і технічну ефективність та ступінь ризику розробки.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

1. Загальноприйняту систему показників ефективності для інвестиційних проєктів цивільного призначення NPV (чистий дохід), IP (індекс дохідності), PP (термін окупності), IRR (внутрішня норма дохідності) не можна використати для оцінки ефективності проєктів зі створення нових зразків КТ, тому що головною і, як правило, єдиною метою реалізації цивільних інноваційних проєктів є одержання максимально можливого прибутку, тоді як для проєктів зі створення зразків КТ прибуток не є домінуючим показником. З цієї причини необхідно

сформувати систему показників ефективності проєктів КТ.

2. Результати розрахунку очікуваних показників ефективності мають природу випадкових величин, тому що в аналітичні вирази, які визначають величину корисного ефекту, входять змінні величини, що є значеннями нестационарних (динамічних) випадкових функцій з невідомими параметрами розподілу. З цієї причини значення очікуваних показників ефективності, що розраховуються, повинні супроводжуватися відповідним рівнем гарантії їхнього досягнення.

3. Ракетно-космічні комплекси та космічні системи є унікальними складними технічними системами і, як правило, для них немає близьких аналогів. З цієї причини в основу моделі розрахунків витрат на створення КТ покладено метод покомпонентної аналогії, тому що зразки КТ можуть містити у своєму складі елементи (підсистеми, прилади, агрегати, вузли), для яких є аналоги. Відомо, що будь-яка складна технічна система може бути представлена функціонально-ієрархічною структурою, тобто може бути дезагрована на складові частини до будь-якого рівня компонентів. Дезагрегація дозволяє завжди знайти не менше одного виробу-аналога для відповідних компонентів. Витрати на розробку та виготовлення дезагрованого виробу можуть бути представлені сумою витрат на компоненти й системні витрати (на розробку проєктної й конструкторської документації, складання та випробування виробу), питома вага яких у вартості проєкту відома. Метод покомпонентної аналогії дозволяє провести найбільш повний і об'єктивний облік факторів, які впливають на величину витрат, при цьому досягається найбільша точність прогнозування витрат на проєкт, який надалі формується як дослідно-конструкторська робота (ДКР).

4. Вхідні дані для розрахунку величини очікуваного корисного ефекту і величини витрат на реалізацію проєктів зі створення і експлуатації КТ формуються експертним шляхом на основі даних з [4] та результатів їхньої аналітичної обробки.

На експертів покладається вирішення таких основних завдань:

- визначення діапазонів можливої зміни технічних характеристик перспективних зразків КТ, при цьому в якості базових даних використовуються результати екстраполяції тенденцій розвитку КТ;

- формування даних для визначення показників технічного рівня, новизни, технічної й технологічної складності нових зразків;

- визначення очікуваної тривалості виконання ДКР і раціональної тривалості експлуатації нових виробів;

- оцінка рівня достовірності даних, що використовуються при проведенні фінансово-економічних розрахунків;

- приведення даних за закордонними і вітчизняними виробами-аналогами до економічних і виробничо-технологічних умов України на момент проведення розрахунків;

- формування довгострокового прогнозу потреб у космічних засобах і послугах;

- формування даних для проведення розрахунків у випадку, коли в основу розроблення зразків КТ покладено нові фізичні принципи;

- формування даних для розрахунку потенційно корисного ефекту, що може бути отриманий у процесі застосування (експлуатації) зразків КТ;

- визначення складу й основних технічних характеристик критично важливих технологій, розробка яких необхідна для забезпечення розвитку космічної техніки та підвищення її конкурентоспроможності на світовому ринку космічних послуг і технологій.

За результатами роботи експертів формується діапазон можливої зміни вхідних даних, що використовуються в розрахунках, та найбільш очікуваний діапазон їхніх значень.

5. Отримані експертним шляхом дані і результати аналітичної обробки інформації з [4] використовуються для формування математичних моделей на основі розмитих множин та нечіткої логіки [2]. Це дає можливість значно знизити рівень невизначеності даних, що використовуються для розрахунку показників ефективності проектів зі створення зразків КТ.

6. В основу розрахунку очікуваних витрат покладено принцип центрального елемента РКК і КС і метод покомпонентної аналогії. Суть прин-

ципу центрального елемента полягає в тому, що із структури РКК чи КС виділяється один або кілька компонентів першого рівня, які мають найбільшу питому вагу у величині загальних витрат. Це дозволяє проводити відносно детальний розрахунок тільки центральних елементів. Центральним елементом в РКК та КС є перший льотний дослідний зразок: для РКК — ракета-носії та базові компоненти стартового комплексу, для КС — космічний апарат. Вартість ДКР і розподіл вартості за етапами ДКР визначається на основі досить стійкого для даного класу й типу РКК чи КС процентного співвідношення вартості етапів ДКР до вартості виготовлення першого дослідного зразка. Досвід авторів з проведення фінансово-економічних розрахунків у сфері космічної діяльності свідчить про те, що цей метод досить ефективний за співвідношенням «точність розрахунків / витрати часу на їхнє проведення».

7. Всі показники, що використовуються в розрахунках очікуваної ефективності, приводяться до єдиної техніко-економічної бази на момент проведення розрахунків. Це дозволяє забезпечити правомірне зіставлення минулих і майбутніх витрат і економічних вигод без необхідності урахування рівня інфляції та девальвації національної валюти. Можлива майбутня інфляція та девальвація національної валюти враховуються при визначенні рівня ризику проекту.

Загальна схема розрахунку очікуваних витрат на виконання ДКР нового зразка та підготовку виробництва має такий вигляд:

$$Z_{\text{дзн}}(t_0) = Z_{\text{дза}}(t_0) \cdot k_{\text{ТС}},$$

$$Z_{\text{н}} = Z_{\text{дзн}}(t_0) [f(k_{\text{н}}) \cdot (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 \cdot k_{\text{ТС}}) + 1],$$

$$Z_{\text{пвн}}(t_0) = Z_{\text{пва}}(t_0) \cdot (q(k_{\text{ТХС}}) - 1),$$

$$k_{\text{ТС}} = \exp(\alpha \cdot f(k_{\text{н}}) \cdot k_{\text{ТР}}) \cdot \exp\left(\beta \cdot \frac{P_{\text{н}} - P_{\text{а}}}{1 - P_{\text{н}}}\right),$$

$$k_{\text{ТР}} = \prod_{i=1}^I \left(\frac{\tau_{\text{Hi}}}{\tau_{\text{Ai}}} \right)^{\gamma_i}, \quad \sum_{i=1}^I \gamma_i = 1,$$

$$f(k_{\text{н}}) = q_1 (\exp(q_2 \cdot k_{\text{н}}) - 1),$$

$$g(k_{\text{ТХС}}) = \exp \gamma \cdot (k_{\text{ТХС}} - 1),$$

де $Z_{\text{дзн}}(t_0)$ — очікувані витрати на виготовлення нового дослідного зразка на момент часу ви-

конання розрахунків t_0 ; $Z_{\text{ДЗА}}(t_0)$ — приведені до економічних умов України на момент часу t_0 витрати на виготовлення дослідного зразка виробу-аналога; $k_{\text{Н}}$ — коефіцієнт новизни нового зразка по відношенню до виробу-аналога, $k_{\text{Н}} \in (0-1)$; $k_{\text{ТР}}$ — коефіцієнт відносного технічного рівня нового зразка по відношенню до виробу-аналога; $Z_{\text{Н}}$ — очікувані витрати на виконання ДКР нового зразка; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ — коефіцієнти питомої ваги вартості етапів ДКР виробу-аналога; $k_{\text{ТС}}$ — коефіцієнт відносної технічної складності нового зразка; $k_{\text{ТХС}}$ — коефіцієнт відносної технологічної складності нового зразка; $Z_{\text{ПВН}}(t_0)$ — очікувані витрати на підготовку виробництва нового зразка; $Z_{\text{ПВА}}(t_0)$ — витрати на підготовку виробництва аналога, приведені до економічних умов України на момент часу t_0 ; $\tau_{\text{Ні}}, \tau_{\text{Аі}}$ — технічні характеристики нового зразка та аналога відповідно; γ_i — ваговий коефіцієнт важливості i -го показника ТТХ; $\alpha, \beta, q_1, q_2, \gamma$ — емпіричні коефіцієнти, характерні для даного класу виробів КТ; $P_{\text{Н}}, P_{\text{А}}$ — рівень надійності нового зразка та аналога відповідно.

Вартість ДКР в основному визначається приведеною до економічних умов України вартістю дослідного зразка виробу-аналога, технічними та технологічними параметрами, що характеризують відмінність нової конструкції від виробу-аналога, такими як: рівень новизни ($k_{\text{Н}}$), відносний технічний рівень ($k_{\text{ТР}}$), коефіцієнти відносної технічної та технологічної складності нової конструкції ($k_{\text{ТС}}, k_{\text{ТХС}}$ тощо).

З практичного досвіду проектування виробів космічної техніки встановлено, що залежність $Z_{\text{Н}} = F(Z_{\text{А}}, k_{\text{Н}}, k_{\text{ТР}}, k_{\text{ТС}}, k_{\text{ТХС}})$ в загальному випадку має нелінійний характер, але при відносно невеликих відмінностях нового виробу від виробу-аналога простежується лінійна залежність.

КОМПЛЕКСНИЙ КРИТЕРІЙ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЕКТІВ

В основу приведеного методологічного підходу покладено узагальнений критерій оцінки ефективності проектів у вигляді «Вигоди* — затра-

ти — технічна ефективність». Структура такого критерію обумовлена тим, що проекти зі створення нової космічної техніки виконуються в інтересах держави і мають, як правило, подвійне призначення.

Виходячи з приведених вище особливостей космічної техніки, узагальнена статистика критерію ефективності (КРЕ) проектів трансформується у таку формалізовану структуру:

$$\begin{aligned} \text{КРЕ} &= \langle W, Z, T, R \rangle, \\ W &= \langle W_1, W_2 \rangle, R = \langle R_1, R_2 \rangle, \\ W_1 &= \frac{KE}{Z}, W_2 = k_{\text{ТЕ}}, \end{aligned} \quad (1)$$

де W — ефективність, Z — затрати на реалізацію проекту, T — тривалість виконання ДКР, R — ступінь ризику при реалізації проекту, W_1 — співвідношення величини очікуваного корисного ефекту до величини затрат (аналог економічної ефективності в інвестиційних проектах цивільного призначення), W_2 — показник технічної ефективності $k_{\text{ТЕ}}$, який визначає рівень конкурентоспроможності та рівень досконалості новітнього зразка, R_1 — ступінь ризику збільшення витрат на реалізацію проекту, R_2 — ступінь ризику зниження корисного ефекту, KE — корисний ефект.

З методичної точки зору проблемною є побудова структури й аналітичних виразів для кількісної оцінки показників W і R .

Наведений нижче методологічний підхід до визначення W і R сформовано на основі теоретичних положень [7, 8].

Для великомасштабних проектів державного значення, таких як ракетно-космічні комплекси, космічні системи тощо, залежно від області застосування одержаних результатів можуть бути такі види корисних ефектів:

- прямий економічний або комерційний ефект ($E_{\text{Е}}$);
- непрямий економічний ефект ($E_{\text{НЕ}}$);
- технологічний ефект ($E_{\text{Т}}$);
- ефект в сфері національної безпеки і оборони ($E_{\text{НБО}}$);
- соціальний ефект ($E_{\text{С}}$);
- екологічний ефект ($E_{\text{ЕК}}$);
- зовнішньополітичний ефект ($E_{\text{ЗП}}$).

* Вигоди, стосовно проектів космічної техніки, трансформуються у корисний ефект.

Корисний ефект зручно представити у вигляді кортежу:

$$KE = \langle E_E, E_{HE}, E_{HBO}, E_T, E_C, E_{EK}, E_{3P} \rangle.$$

Слід зазначити, що методами прямого вимірювання можна визначити лише комерційний ефект.

Величина корисного ефекту від застосування космічних систем і космічних ракетних комплексів значною мірою визначається їхніми основними технічними й експлуатаційними характеристиками $\{\tau_i\}$, умовами застосування (UP), тривалістю ДКР (T), тривалістю життєвого циклу ($T_{жц}$) та технічним рівнем нового зразка космічної техніки ($k_{тр}$)

$$KE = F(\{\tau_i\}, UP, T, T_{жц}, k_{тр}).$$

Прямий економічний ефект (E_E) є різницею між сумою одержаного валового доходу (виручки) та сумою понесених витрат у процесі створення та експлуатації (використання) нового зразка КТ. Прямий економічний ефект еквівалентний чистому прибутку, що утворюється в результаті виробництва та реалізації КТ на ринку космічної продукції та послуг. Економічне вимірювання цього ефекту забезпечується методами бухгалтерського обліку.

Непрямий економічний ефект (E_{HE}) є частиною чистого прибутку, що утворюється за рахунок використання космічних технологій у сферах господарської діяльності, наприклад сільське та лісове господарство, розвідка родовищ корисних копалин, картографія тощо. Пряме економічне вимірювання цього ефекту неможливе, але його можна розрахувати з використанням наявної бухгалтерської та статистичної інформації. Таким чином забезпечується непряме економічне вимірювання цього ефекту.

Ефект у сфері національної безпеки і оборони (E_{HBO}) визначається:

- економією державних коштів, необхідних для забезпечення сучасного рівня національної безпеки і оборони, за рахунок використання космічних технологій;

- величиною можливих додаткових економічних вигод держави, що можуть бути отримані за рахунок прийняття державних управ-

лінських рішень на основі достовірної космічної інформації;

- величиною зниження збитків держави від можливих техногенних та природних катастроф за рахунок широкого використання космічної та навігаційної інформації.

Ефект E_{HBO} не підлягає прямому виміру у грошових одиницях, але його можна оцінити у грошовому вимірі шляхом використання математичних моделей, побудованих на основі розмитих множин та нечіткої логіки. Станом на сьогодні жоден проект в сфері космічної техніки, крім систем супутникового зв'язку, не є вигідним з комерційної точки зору. Незважаючи на це, багато країн активно розвивають або намагаються створити власний національний ракетно-космічний потенціал. Слід зазначити, що для проектів КТ комерційна складова є лише намаганням здешевити розробку, виробництво та експлуатацію нових зразків космічної техніки в інтересах національної безпеки і оборони.

Технологічний ефект E_T визначається складом і характеристиками нових конструкцій і технологій, які будуть створені у процесі виконання ДКР, і можуть бути використані при виготовленні нових зразків КТ, а також при трансфері новітніх технологій. Цей ефект піддається вимірюванню у грошових одиницях, але воно значно складніше, ніж вимірювання непрямого економічного ефекту.

Соціальний ефект E_C визначається масштабом і тривалістю виробництва, технічною й технологічною складністю виробництва нових зразків КТ, зростанням числа робочих місць та реальної заробітної плати. Оцінювання величини очікуваного соціального ефекту у грошовому вимірі у більшості випадків можливе [3], але є дуже складним. На основі експертних оцінок величина соціального ефекту для проектів КТ має величину, близьку до похибки оцінки корисного ефекту у сфері національної безпеки і оборони та технологічного ефекту. Виходячи з цього, у процесі фінансово-економічного обґрунтування проектів космічної техніки недоцільно провадити оцінювання соціального ефекту у грошовому вимірі.

Екологічний ефект E_{EK} визначається технологічними та експлуатаційними характерис-

тиками нових зразків, складом і величиною можливих викидів у навколишнє середовище та потенційними вигодами, обумовленими зниженням величини екологічного збитку за рахунок оперативного виявлення негативної зміни екологічного стану навколишнього середовища. Цей ефект піддається оцінці у грошових одиницях шляхом непрямого вимірювання.

Зовнішньополітичний ефект $E_{зп}$ визначається економією державних коштів, необхідних для створення та підтримки геополітичного іміджу країни, та можливими вигодами України у сфері міжнародного співробітництва в області промислового використання космосу. Ефект $E_{зп}$, так як і ефект $E_{нбо}$, не піддається прямому вимірюванню у грошових одиницях, але його можна оцінити з використанням математичних моделей на основі розмитих множин та нечіткої логіки.

Підтвердженням можливості оцінки у грошовому вимірі корисних ефектів, що не можуть бути визначені за допомогою прямих вимірювань, може слугувати оцінка корисного ефекту від використання зразків космічної техніки Європейським космічним агентством [10].

Для проектів зі створення космічної техніки корисний ефект доцільно розкласти на три складові частини: прямий економічний дохід (у формі чистого дисконтованого доходу), непрямий дохід (як оцінка одержаних суспільством непрямих економічних вигод), та інші додаткові вигоди (трансфер новітніх технологій, зростання безпеки і оборони країни, зростання політичної ваги на міжнародному рівні тощо).

Виходячи з виразу (1), для технічних систем подвійного призначення за показники ефективності доцільно вибрати мінімально допустиму та найбільш інформативну множину техніко-економічних параметрів: коефіцієнт вигод-затрат $k_{вз}$; приведений індекс дохідності $I_{дп}$; інтегральний показник технічної ефективності $k_{те}$:

$$k_{вз} = \frac{ЧДД + НД + ДВ}{ДВІ},$$

$$I_{дп} = \frac{ЧДД}{ДВІ \cdot (1 - \eta_{нбо})},$$

$$k_{те} = \alpha_T \cdot k_{трс},$$

де ЧДД — чистий дисконтований дохід; НД — сукупність непрямих доходів, що очікуються від використання РКК та КС; ДВ — додаткові вигоди від використання космічних технологій у сфері національної безпеки і оборони, трансферу новітніх технологій, підвищення політичної ваги країни на міжнародному рівні тощо; ДВІ — дисконтована вартість інвестицій; $\eta_{нбо}$ — питома вага використання технічного ресурсу РКК та КС в інтересах національної безпеки і оборони; α_T — статистичний коефіцієнт пропорційності; $k_{трс}$ — показник технічного рівня для РН або КА відносно кращих світових зразків (характеризує досконалість зразка та його потенційну конкурентоспроможність на світовому ринку).

У випадку, коли параметр $\eta_{нбо} \approx 0$, критерій ефективності (1) трансформується у критерій визначення економічної ефективності ДКР цивільного призначення. У випадку, коли $\eta_{нбо} \approx 1$, критерій ефективності (1) трансформується у критерій цільової ефективності (вірогідність виконання цільової задачі).

ПІДХІД ДО ОЦІНКИ РИЗИКІВ ПРОЕКТІВ

Як показує світовий досвід, ДКР зі створення зразків новітньої космічної техніки належать до класу проектів з високим ризиком. Непоодинокі випадки, коли фактична вартість реалізації цього класу проектів може перевищувати у 2–3 рази початкову вартість, а корисний ефект може бути нижчим у декілька разів від очікуваної величини, яка була визначена на передпроектній стадії та стадії ескізного проектування.

Виходячи з цього, для ДКР зі створення новітніх зразків космічної техніки доцільно визначити два основних ризики:

- ризик збільшення витрат на реалізацію;
- ризик зменшення величини корисного ефекту внаслідок можливого зниження фактичного показника технічного рівня, збільшення терміну виконання ДКР, високого рівня невизначеності статистичних та прогнозних даних, які використовуються при проведенні розрахунків величини корисного ефекту.

За показник рівня ризику доцільно використовувати від'ємну різницю між можливим фактичним значенням корисного ефекту та його но-

мінальним (найбільш очікуваним) значенням, а також міру можливості виникнення подібних відхилень від номінальних значень.

Відповідно до комплексного критерію ефективності (1) для проектів подвійного призначення найбільш істотними є три види ризиків: економічний; технічний; часовий.

Економічний ризик включає:

- ризик збільшення витрат на виконання ДКР;
- ризик зниження прямого доходу (чистий дисконтований дохід) від використання результатів ДКР;
- ризик зниження непрямих доходів та величини додаткових вигод.

Технічний ризик — це можливе погіршення фактичних тактико-технічних характеристик нових зразків космічної техніки відносно необхідних (зниження технічного рівня).

Часовий ризик — це можливість невиконання запланованої тривалості ДКР.

Перераховані види ризику інтегруються в складі ризиків збільшення витрат та зменшення корисного ефекту, тому для оцінки ефективності проекту до складу критерію ефективності достатньо включити тільки узагальнені ризики.

В формалізованому поданні рівень ризику можна записати як:

$$R_1 = \langle Z_\Phi - Z_{\text{НОМ}}, P_Z \rangle, \\ R_2 = \langle KE_\Phi - KE_{\text{НОМ}}, P_{\text{КЕ}} \rangle,$$

де R_1 — рівень ризику збільшення витрат; Z_Φ — можливі фактичні витрати на реалізацію проекту; $Z_{\text{НОМ}}$ — номінальні (найбільш очікувані) витрати на реалізацію проекту; P_Z — оцінка міри можливості того, що фактичні витрати складуть величину Z_Φ ; R_2 — рівень ризику зменшення величини корисного ефекту; KE_Φ — можлива величина фактичного корисного ефекту; $KE_{\text{НОМ}}$ — номінальна очікувана величина корисного ефекту; $P_{\text{КЕ}}$ — оцінка міри можливості зниження корисного ефекту до величини KE_Φ .

Виходячи з того, що визначення очікуваних витрат на реалізацію проекту провадиться на основі наявних статистичних даних, за міру рівня ризику зростання витрат зручно використовувати стандартне відхилення σ :

$$Z_\Phi - Z_{\text{НОМ}} = q \cdot \sigma, P_Z = F(q, \sigma).$$

З огляду на те, що при проведенні розрахунків очікуваних витрат на виконання ДКР використовуються дані за зразками-аналогами, які лише тією чи іншою мірою можуть бути близькими до достовірних значень, то стандартне відхилення можна оцінити у першому наближенні так:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{j=1}^n \left(q_j \frac{1 - \delta_j}{3} \right)^2} \cdot \sqrt{\Delta T + 1}, \\ q_j = \frac{\partial Z_{\text{НОМ}}}{\partial p_j},$$

де q_j — чутливість очікуваних витрат на можливу варіацію значень даних, які використовуються при розрахунках витрат на ДКР; p_j — значення j -го компонента вхідних даних, який має властивості невизначеності; δ_j — середній рівень достовірності j -го компонента вхідних даних; ΔT — строк затримки виконання проекту (рік); q — коефіцієнт, що визначає ширину довірчого інтервалу.

Більш точніше значення рівня ризику зростання витрат на виконання ДКР можуть бути одержані методом імітаційного моделювання процесу ДКР з використанням математичних моделей на основі розмитих множин.

Визначення рівня ризику зменшення корисного ефекту R_2 доцільно провадити методом комп'ютерного моделювання:

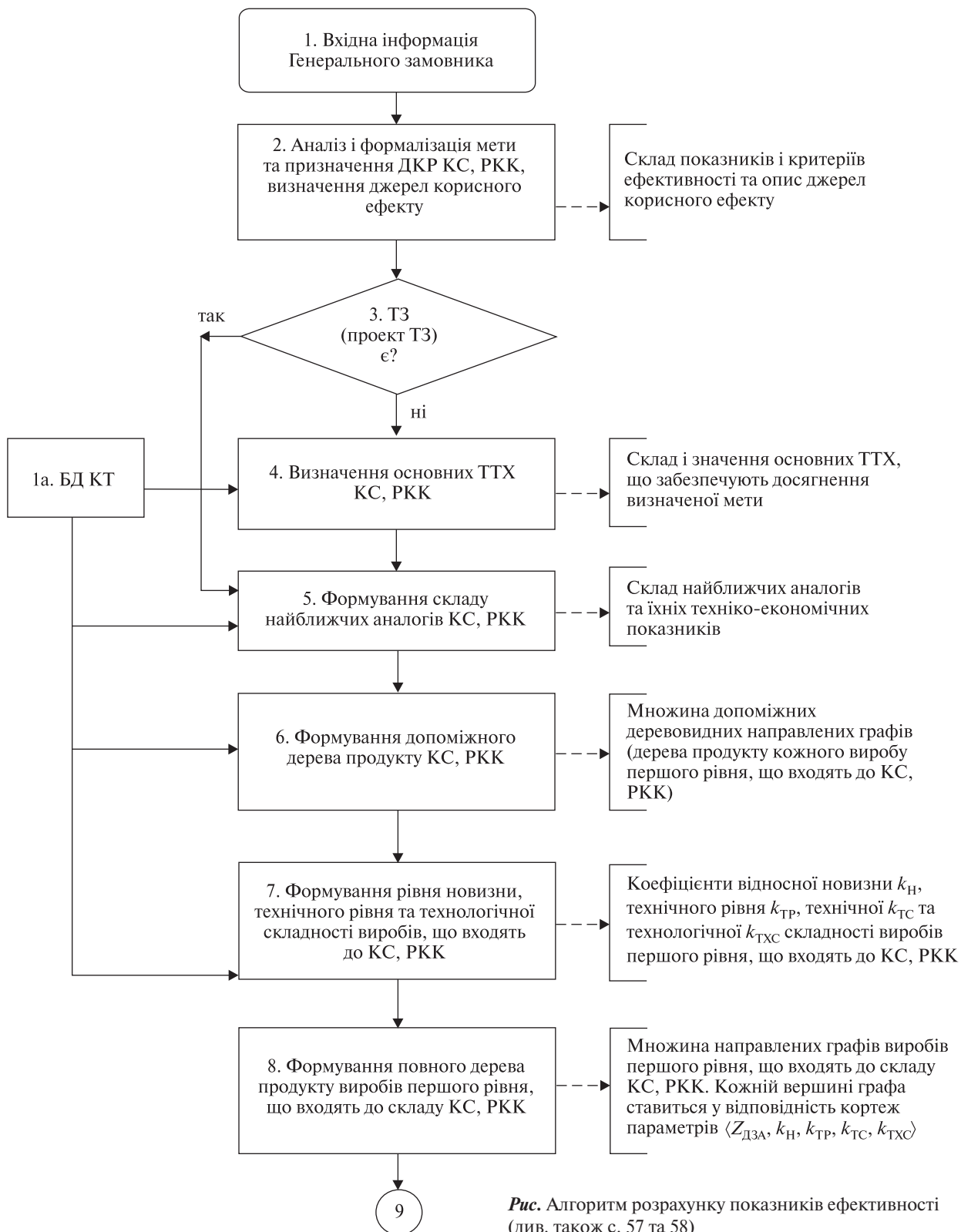
а) на початковій стадії визначається номінальна величина корисного ефекту, яка може бути одержана шляхом прямого розрахунку для номінальних вхідних даних (базовий варіант);

б) рівень ризику зниження величини корисного ефекту доцільно визначати з використанням імітаційного моделювання.

Таким чином, визначаються необхідні для розрахунків рівня ризику величини $R_{\text{КЕ}}$, $P_{\text{КЕ}}$:

$$R_{\text{КЕ}} = KE(M) - KE(M^*), \\ P_{\text{КЕ}} \approx \frac{N_1(M, M^*)}{N},$$

де $R_{\text{КЕ}}$ — можлива величина зниження корисного ефекту через наявність факторів ризику (в тому числі можливих аварійних ситуацій); $KE(M^*)$ — величина очікуваного корисного



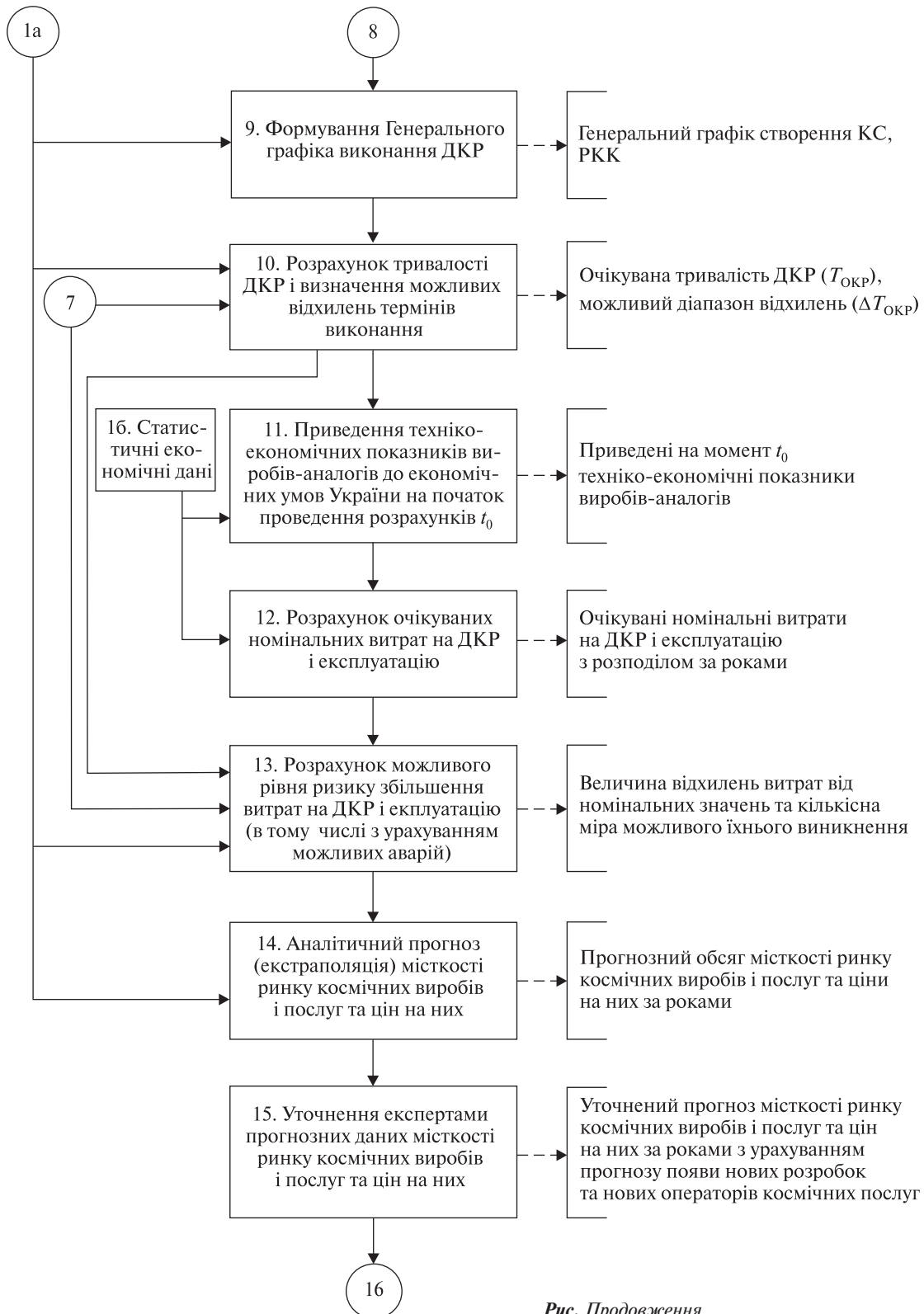


Рис. Продовження

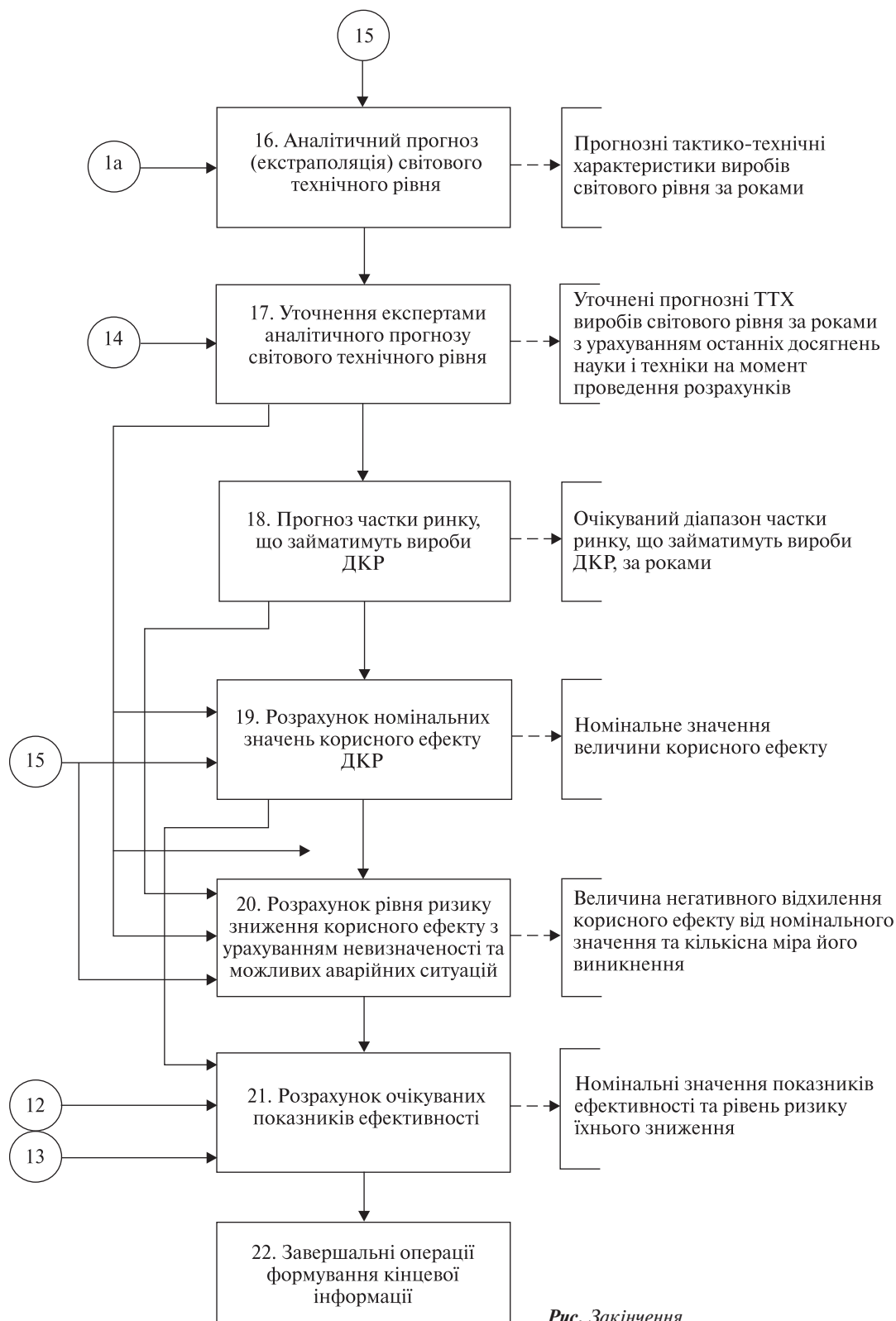


Рис. Закінчення

ефекту для множини номінальних (найбільш очікуваних) значень вхідних даних (M^*) — базовий варіант; $KE(M)$ — величина можливого корисного ефекту з урахуванням факторів ризику; $N_1(M, M^*)$ — кількість випадків, що може виникнути в процесі проведення комп'ютерних експериментів, при яких $|R_{KE}| \leq Q_3$; N — загальна кількість комп'ютерних експериментів; Q_3 — значення допустимої величини зниження корисного ефекту.

Для ілюстрації методологічного підходу до розрахунків очікуваних показників ефективності ДКР космічних систем та космічних комплексів на рисунку приведено укрупнений алгоритм їхнього розрахунку.

ВИСНОВКИ

1. Приведено методологічний підхід до фінансово-економічного обґрунтування проектів зі створення космічної техніки, на основі якого може бути створено методичну базу для проведення розрахунків з обґрунтування майбутніх космічних проектів і програм.

2. Сформовано систему критеріїв ефективності для оцінки проектів зі створення космічної техніки, яка базується на показниках: економічна ефективність (коефіцієнт вигод-затрат, індекс дохідності), очікувані затрати, технічна ефективність та ступінь ризику.

3. Приведений в статті методологічний підхід використовувався при фінансово-економічному обґрунтуванні Концепції реалізації державної політики України у сфері космічної діяльності на період до 2032 року та Загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми України на 2013—2017 роки.

1. Виленский П. Л., Лившиц В. Н., Смоляк С. А. Оценка эффективности инвестиционных проектов. Теория и практика: 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Дело, 2002. — 888 с.
2. Дюбуа Д., Прад А. Теория возможностей: приложения к представлению знаний в информатике. — М.: Радио и связь, 1990.
3. Иванов Г. И. Инвестиционный менеджмент. — Ростов на Дону: Феникс, 2001. — 320 с.

4. Інформаційно-аналітична система щодо забезпечення маркетингової діяльності на світовому ринку транспортно-космічних послуг (розроблена ІТМ НАНУ і ДКАУ за контрактом з ДКАУ, знаходиться в ДКАУ і підтримується в актуальному стані).
5. Концепція реалізації державної політики України у сфері космічної діяльності на період до 2032 року // Урядовий кур'єр. — 2011. — 24 травня (№ 92).
6. Методика визначення економічної ефективності витрат на наукові дослідження і розробки та їх впровадження у виробництво (Затверджена Міністерством економіки та з питань європейської інтеграції та Міністерством фінансів України 26.09.2001 р. № 218/446). — Режим доступу http://www.uazakon.com/documents/date_20/pg_igwzop.htm
7. Надежность и эффективность в технике: справочник: В 10 т. — М.: Машиностроение, 1988. — Т. 3: Эффективность технических систем / Под общ. ред. В. Ф. Уткина, Ю. В. Крючкова. — 328 с.
8. Пилипенко О. В., Переверзев Е. С., Алпатов А. П. та ін. Эффективность научно-технических проектов и программ. — Днепропетровск: Пороги, 2008. — 509 с.
9. Савчук В. П., Прилипко С. И., Величко Е. Г. Анализ и разработка инвестиционных проектов. — Киев: Абсолют—В, Эльга, 2000. — 304 с.
10. Robinson P., Morel de Westgaver E. Economic Benefits from ESA Programmes. — Netherlands, Nordwijk: ESA Publications Division, 2000. — 38 p.

Стаття надійшла до редакції 10.10.14

А. П. Алпатов, В. Т. Марченко,
П. П. Хорольский, Н. П. Сазина

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФИНАНСОВО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ ПРОЕКТОВ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Описан методологический подход к финансово-экономическому обоснованию проектов по созданию космической техники по показателям затрат, экономической и технической эффективности и рисков.

A. P. Alpatov, V. T. Marchenko,
P. P. Khorolskyi, N. P. Sazina

METHODOLOGY FOR FINANCIAL AND ECONOMIC FEASIBILITY OF CONCEPTUAL PROBLEMS IN ROCKET-SPACE INDUSTRY

We consider our methodology approach developed for financial and economic feasibility of conceptual problems in rocket-space industry under the following criteria: costs, potential useful effect, and risks.

УДК 550.388.2+520.6.05+534-6+520.27

О. К. Черемных¹, С. И. Климов², В. Е. Корепанов³, В. В. Кошовый⁴, М. Е. Мельник³,
О. Л. Ивантишин⁴, В. П. Мезенцев³, Р. Т. Ногащ³, Ю. Г. Рапопорт^{5,1}, Ю. А. Селиванов¹, Л. П. Семенов⁶

¹ Институт космических исследований Национальной академии наук Украины
та Державного космічного агентства України, Київ

² Институт космических исследований Российской академии наук, Москва, Россия

³ Львовский центр Института космических исследований Национальной академии наук Украины
та Державного космічного агентства України, Львів

⁴ Физико-механический институт имени Г. В. Карпенка Национальной академии наук Украины, Львів

⁵ Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

⁶ Державное космічне агентство України, Київ

НАЗЕМНО-КОСМИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ИСКУССТВЕННОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИИ ИОНОСФЕРЫ. ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Наземно-космический эксперимент по исследованию влияния искусственных акустических возмущений на ионосферу проведен 28 ноября 2013 г. В эксперименте были задействованы микроспутник «Чибис-М» (ИКИ РАН), мощный стационарный акустический излучатель (ЛЦ ИКИ НАНУ-ГКАУ) и декаметровый радиотелескоп УРАН-3 (ФМИ НАНУ). В ходе эксперимента было проведено пять сеансов регистрации вариаций магнитных и электрических полей на борту спутника в моменты пролета вблизи точки расположения акустического излучателя. Одновременно с помощью радиотелескопа выполнялись наблюдения за изменением радиопрозрачности ионосферы над местоположением излучателя. Представлены результаты обработки данных измерений.

ВВЕДЕНИЕ

Международный космический эксперимент «ЛИНК-Чибис» был выполнен научными коллективами Украины и России для исследования отклика ионосферы на низкочастотное акустическое (НЧА) излучение, генерируемое наземным управляемым акустическим (НУА) излучателем.

Научной задачей эксперимента являлось получение экспериментальной информации о явлениях, возникающих при распространении от поверхности Земли и взаимодействии с атмосферными и ионосферными слоями низкочастотного акустического излучения со специальной амплитудной модуляцией. Отличительной особенностью проведенного эксперимента

является его комплексность: с одной стороны, НУА-излучатель обеспечивает управляемую генерацию акустического поля НЧА-излучения за счет излучения двух смещенных по частоте акустических волн с низкочастотной амплитудной модуляцией и их нелинейного взаимодействия в нижней атмосфере [2, 4, 6, 8, 32]; с другой стороны, проводилась синхронизированная во времени регистрация параметров электромагнитных полей в определенных частотных диапазонах с целью поиска реакции ионосферы на акустическое возбуждение.

С 1963 г., когда в Государственный реестр открытий СССР внесено под № 128 с приоритетом от 25 сентября 1963 г. открытие А. В. Таранцева и Я. Г. Бирфельда в следующей формулировке: «Установлено неизвестное ранее явление возникновения ионосферных возмущений, наиболее сильных в полярных областях, обусловленное воздействием акустических волн, возникающих в атмосфере Земли в результате землетрясений,

© О. К. ЧЕРЕМНЫХ, С. И. КЛИМОВ, В. Е. КОРЕПАНОВ,
В. В. КОШОВЫЙ, М. Е. МЕЛЬНИК, О. Л. ИВАНТИШИН,
В. П. МЕЗЕНЦЕВ, Р. Т. НОГАЩ, Ю. Г. РАПОПОРТ,
Ю. А. СЕЛИВАНОВ, Л. П. СЕМЕНОВ, 2014

вулканических извержений, подземных, приземных и воздушных взрывов», нет сомнений в возможности акустического воздействия на ионосферу. Однако остается открытым вопрос о минимальной мощности наземного источника, при которой еще реализуется такое воздействие.

В настоящее время дистанционный мониторинг природной среды невозможен без систематических наблюдений атмосферных волн НЧА-излучения (преимущественно в инфразвуковом диапазоне), которые могут выступать в качестве полезного сигнала при диагностике природных систем [14, 30] или же в качестве помехи, влияющей на сигналы от дистанционно контролируемых технических объектов [1, 8, 18]. Важно отметить экспериментальное обнаружение с орбитальных космических аппаратов (КА) [11, 20, 22] НЧА-излучения, порожденного очагами готовящихся землетрясений: так, инфразвук, генерированный растрескиванием горных пород в областях подготовки землетрясений, сейчас рассматривается как один из возможных их предвестников. В тех случаях, когда удавалось вовремя провести спутниковые измерения, были зафиксированы ионосферные возмущения на частотах таких волн.

Установлено, например, в эксперименте МАС-СА (изучение магнитосферно-атмосферных связей при сейсмо-активных явлениях, 1981 г.) [22], что ионосферные возмущения, вызываемые НЧА-излучением от наземных взрывов, трансформируясь в плазменные волны различных типов и ионосферные вихри, распространяются на значительные расстояния и длятся долгое время. Этот процесс сопровождается целой гаммой других эффектов, которые, с одной стороны, поддаются дистанционной диагностике, в частности наземными и космическими средствами, а с другой — отображают природу возбуждающего акустического поля и информацию о его источнике [1, 19, 20, 31, 33, 38].

При систематизации и детальном изучении таких эффектов можно будет диагностировать состояние ионосферной плазмы по ее реакции на акустическое возбуждение, и даже, при наличии достаточно мощных управляемых источников акустических полей, целенаправленно влиять на

состояние ионосферы [6, 11]. При этом, как и в задачах высокочастотного радионагрева ионосферы, необходимо решить сложную проблему доставки в ионосферу достаточного количества механической энергии в форме низкочастотных акустических колебаний.

Корректное решение проблемы обнаружения и идентификации ионосферных возмущений акустического типа естественного и искусственного происхождения, а на их основе и источников звука на поверхности Земли, требует знаний о закономерностях влияния на ионосферу источников возмущений различной природы, в том числе и акустических.

Для исследования этой проблемы в основном используются явления естественного происхождения. Среди ученых, внесших вклад в исследование литосферно-ионосферных связей при сейсмоакустических явлениях: М. Б. Гохберг, В. А. Липеровский (Институт физики Земли РАН, Россия), Э. Л. Афраймович (Институт Солнечно-земной физики, Россия), В. И. Ларкина (ИЗМИРАН, Россия), М. Hayakawa (University of Electro-Communication, Japan), М. Parrot (LPCE/CNRS, France), N. Blaunstein (Ben-Gurion University of the Negev, Israel), Н. Я. Коцаренко (Киевский национальный университет им. Т. Г. Шевченко), Л. Ф. Черногор (Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина, Украина), В. М. Краснов (Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, Россия).

Приближенная теория «просветления ионосферы» для радиоволн под влиянием излучения звукового генератора, включающая параметрическое преобразование двух акустических волн с частотами порядка 600 и 625 Гц в разностную частоту порядка 25 Гц построена в работе [32], а возможность проникновения акустических волн на частоте порядка разностной частоты из нижней атмосферы в ионосферу и соответствующего измеримого ионосферного отклика в линейном приближении приведена в работе [39].

Для изучения влияния акустических полей на ионосферу использовались, как правило, мощные взрывы. В это направление исследований внесли свой вклад такие ученые, как А. R. Jacobson, R. C. Carlos, T. J. Fitzgerald (Los Alamos Na-

tional Laboratory, USA), E. Blanc (Laboratory of Detection of Geophysics, France), П. М. Нагорский, (Сибирский Физико-Технический институт, Россия), В. И. Дробжев (Институт ионосферы МОН РК, Казахстан), М. Б. Гохберг (Институт физики Земли РАН, Россия), Ю. И. Гальперин (ИКИ РАН), Н. Я. Коцаренко (Киевский национальный университет им. Т. Г. Шевченко), М. Hayakawa (University of Electro-Communication, Japan), Л. Ф. Черногор (Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина, Украина), В. М. Краснов (Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, Россия).

Однако из-за случайности и неуправляемости явлений естественного происхождения эффективность их использования как исследовательского инструмента низка, а проведение мощных наземных взрывов еще и связано с проблемами экологического характера.

С другой стороны, значительно менее мощные источники типа метеорологических акустических локаторов, дают информацию только о состоянии нижней атмосферы.

Значит, как и было упомянуто выше, открытыми остаются такие важные вопросы, как определение нижней границы мощности источника, достаточной для получения проявленной (измеримой) реакции ионосферы, а также определение градации проявления эффектов в различных временных и пространственных масштабах при возрастании мощности источника звука. Для решения таких задач актуально использование установок типа НУА-излучателя.

Ниже кратко описаны основные моменты подготовки, проведения и представлены результаты обработки данных наземно-космического активного эксперимента, в котором были задействованы акустический излучатель Львовского центра Института космических исследований НАН Украины и ГКА Украины (ЛЦ ИКИ НАНУ-ГКАУ), микроспутник (МС) «Чибис-М» Института космических исследований РАН и декаметровый радиотелескоп УРАН-3 Физико-механического института им. Г. В. Карпенко НАН Украины (ФМИ НАНУ). На данном этапе развития исследований нас интересовала прежде всего феноменология отклика ионосферы,

а не построение теории влияния на ионосферу с помощью наземного генератора. Это планируется сделать после анализа представленных здесь данных эксперимента в 2014—2015 гг. соответствующими подразделениями ИКИ НАНУ и ГКАУ, ИКИ РАН, ЛЦ ИКИ НАНУ-ГКАУ, ФМИ НАНУ.

ГЛАВНЫЕ НАУЧНЫЕ ЗАДАЧИ ЭКСПЕРИМЕНТА «ЛИНК-ЧИБИС»

Из экспериментов и численного моделирования известно, что при излучении низкочастотного акустического (например инфразвукового) сигнала в направлении, близком к вертикали, он уходит в верхние слои атмосферы, где, претерпев ряд изменений, в конечном итоге поглощается. Теоретически оцененная предельная высота, которой достигает сигнал до поглощения, зависит от частоты волны, уменьшаясь с ее увеличением, и отличается для линейных (гармонических) и нелинейных волн [10]. Есть теоретические указания на то, что акустический сигнал асимптотически приобретает форму N -волны [13], параметры которой слабо зависят от условий излучения.

Явление проникновения НЧА-излучения в ионосферу нельзя считать достаточно полно изученным экспериментально по целому ряду причин. Во-первых, это трудность прямых наблюдений на всей трассе в атмосфере с переменными ветрами, наличием аэрозолей и изменчивой стратификацией, что заставляет вводить модельные предположения. Особенно это касается промежуточных высот в 40 — 70 км, т. е. ниже орбит спутников, но выше высот авиационных средств. Во-вторых, реальные акустические сигналы, как правило, представляют собой волновые пакеты с той или иной низкочастотной модуляцией и, часто, не являются синусоидальными. В-третьих, моделирование подъема пакета в верхние слои атмосферы с учетом нелинейных эффектов и диссипация, обязанных нарастанию колебательной скорости на фоне уменьшения плотности атмосферы, показывает очень сложную картину, зависящую от конкретных условий вблизи трассы. Наконец, в-четвертых, практически отсутствует экспериментальная основа

в виде источников НЧА-излучения требуемой мощности, с привлечением которых уже возможна постановка контролируемых экспериментов с активным акустическим воздействием на верхнюю атмосферу и ионосферу.

В реальном эксперименте, как правило, комбинируются несколько эффектов. Часто они зависят от процессов, которые, по тем или иным причинам, трудно учитывать или контролировать. Говорить о решении задачи идентификации отклика ионосферы в этих условиях возможно только на основе постановки одновременных измерений по разным каналам (и на разных высотах) и комплексного анализа соответствующих данных.

Суммируя ряд теоретических исследований, можно выделить несколько возможных механизмов протекания указанных явлений.

Во-первых, прямое достижение пакетом НЧА-излучения ионосферных высот с образованием соответствующего отклика ионосферной плазмы, что возможно при достаточно низких частотах и достаточной мощности [19, 33]. Этот механизм наблюдался экспериментально, например, в эксперименте МАССА [1] для ударных акустических волн. Моделированию распространения пакетов НЧА-излучения посвящены работы [27, 28], для синусоидальных волн с пространственно-ограниченным источником в работах [21, 40, 41] построена теория и проведено сравнение с экспериментальными данными. Анализ экспериментальных данных по акустоионосферным эффектам посвящены работы [2, 6, 32]. Ввиду стратификации атмосферы амплитуда акустических волн увеличивается с высотой [24, 26, 27]. Это вызывает генерацию (нелинейную) высших гармоник и ограничивает высоту, до которой возможно проникновение акустических волн [25, 27, 28]

Во-вторых, возможна трансформация пакета акустических волн в электромагнитные волны в ионосфере [13, 18, 33, 35, 36, 38], в том числе возбуждение альвеновских волн через посредство тока, генерируемого в E -области ионосферы [27], а также пространственно разнесенных структур нейтральной и заряженной составляющих анизотропной ионосферной области F неус-

тойчивой экваториальной плазмы [40]. Заметим, что спутники на относительно невысоких орбитах смогут регистрировать как альвеновские, так и магнитозвуковые волны, тогда как на высотах выше 600 км магнитозвуковые волны рассеиваются благодаря сильной дифракции, и остаются альвеновские волны, распространяющиеся вдоль силовых линий магнитного поля [25].

В-третьих, есть возможность модуляции акустической волной (вертикального) атмосферного тока, который в этом случае становится антенной, излучающей электромагнитные волны, достигающие ионосферных высот и трансформирующихся в ионосферной плазме в МГД-волны [16, 17, 22, 31].

Необходимо также отметить важную роль, которую могут играть в изучении вертикально распространяющегося НЧА-излучения горизонтальные (и наклонные) атмосферные волноводы. Поднимаясь до высоты этих волноводов, акустические волны могут возбуждать резонансные моды, распространяющиеся в них на значительные расстояния. Например, в работе [15] рассмотрен акустический волноводный слой вблизи высоты 75 км, а в работах [40, 41] — волновод для гидромагнитных волн с частотой, соответствующей инфразвуковым колебаниям, на высотах порядка 300 км.

Цель рассматриваемого эксперимента — с помощью бортовой научно-исследовательской аппаратуры МС «Чибис-М» и наземного радиоастрономического комплекса УРАН-3 зафиксировать изменения характера вариаций магнитных и электрических полей, которые можно было бы интерпретировать как реакцию ионосферы на акустическое возмущение с поверхности Земли.

НАУЧНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ НА БОРТУ МИКРОСПУТНИКА «ЧИБИС-М»

Микроспутник «Чибис-М» своей целевой задачей имеет изучение физических процессов, связанных с атмосферными грозовыми разрядами. Для этой цели КА оснащен комплексом научной аппаратуры «Гроза», в состав которого входит магнитно-волновой комплекс для измерений в диапазоне частот от 0.1 Гц до 40 кГц (МВК) [12], состоящий из следующих устройств:

- индукционный магнитометр — LEMI-127 (ЛЦ ИКИ НАН и ГКА Украины);
- комбинированный волновой зонд — LEMI-603 (ЛЦ ИКИ НАН и ГКА Украины);
- процессор спектрального анализа — ПСА (Университет Этвеша, Венгрия).

Реализованная на борту МС конфигурация датчиков комплекса МВК позволяет провести векторные измерения магнитной и одной из электрических составляющих КНЧ-ОНЧ-излучений. В круг задач, решаемых по программе исследований «Чибис-М» [12], входило проведение активного эксперимента по акустическому воздействию на атмосферу и ионосферу во время пролёта «Чибис-М» над наземным стендом ЛЦ ИКИ (эксперимент «ЛИНК-Чибис»). Некоторые характеристики МВК приведены в табл. 1.

НАУЧНЫЕ УСТАНОВКИ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ НАЗЕМНОГО СЕГМЕНТА

Выбор составляющих наземного сегмента был обусловлен научными задачами эксперимента, разработанными ранее методиками измерений, имеющимся опытом участия исследователей в решении задач по акустическому воздействию на атмосферу, готовностью установок на период проведения эксперимента. В результате в состав наземного сегмента были включены следующие установки.

Наземный управляемый акустический (НУА) излучатель — ЛЦ ИКИ НАН и ГКА Украины (расположение: г. Львов, 49°47'56.52" N 24°00'34.31" E) [2, 4, 6]. Конструктивно установка состоит из камеры, в которой вращаются два ротора, и рупора. Генератором звука в используемом роторном акустическом излучателе является связанные с каждым из роторов тела, вращающиеся со сверхзвуковой скоростью. При этом в турбулентном следе за движущимся телом генерируются акустические волны, а перед ним — слабые ударные волны (импульсы). При частоте следования импульсов в 600 Гц эффективная длина волны (расстояние между импульсами) составляет порядка 0.5 м. Из камеры с роторами импульсы поступают в вертикальный рупор длиной около 8 м. При уровне акустического давления на срезе рупора в 165 дБ амплитудное значение избыточного давления составляет примерно 3600 Па, что сравнимо с избыточным давлением в ударной волне сверхзвукового самолета и приводит к проявлению нелинейных эффектов. Суммируя, можно сказать, что роторный излучатель генерирует периодическую последовательность звуковых импульсов с ударными фронтами. Для обеспечения разумного компромисса между мощностью наземного источника (эффективность излучения выше при высоких частотах) и достижением волнами ионосферных высот (предельная высота подъема больше при низких частотах) была разработана схема, в которой начальная генерация производилась с частотами следования нелинейных волн (акустических импульсов) 600 и 624 Гц пакетами с длительностью 60 с с расстоянием между ними в 60 с, что соответствует амплитудной модуляции с частотой около 0.01 Гц. Дальше, согласно оценкам, на высотах нижней атмосферы, в области перекрытия двух нелинейных волн, должна была сформироваться «параметрическая антенна», излучающая вблизи разностной частоты (24 Гц) и практически с той же амплитудной модуляцией. При достижении волнами с частотами 600 и 624 Гц предельных для них высот они должны были распасться, причем вторичный комплекс (24 Гц с модуляцией около 0.01 Гц) должен был продолжить движение до высот распада несущей. После

тном следе за движущимся телом генерируются акустические волны, а перед ним — слабые ударные волны (импульсы). При частоте следования импульсов в 600 Гц эффективная длина волны (расстояние между импульсами) составляет порядка 0.5 м. Из камеры с роторами импульсы поступают в вертикальный рупор длиной около 8 м. При уровне акустического давления на срезе рупора в 165 дБ амплитудное значение избыточного давления составляет примерно 3600 Па, что сравнимо с избыточным давлением в ударной волне сверхзвукового самолета и приводит к проявлению нелинейных эффектов. Суммируя, можно сказать, что роторный излучатель генерирует периодическую последовательность звуковых импульсов с ударными фронтами. Для обеспечения разумного компромисса между мощностью наземного источника (эффективность излучения выше при высоких частотах) и достижением волнами ионосферных высот (предельная высота подъема больше при низких частотах) была разработана схема, в которой начальная генерация производилась с частотами следования нелинейных волн (акустических импульсов) 600 и 624 Гц пакетами с длительностью 60 с с расстоянием между ними в 60 с, что соответствует амплитудной модуляции с частотой около 0.01 Гц. Дальше, согласно оценкам, на высотах нижней атмосферы, в области перекрытия двух нелинейных волн, должна была сформироваться «параметрическая антенна», излучающая вблизи разностной частоты (24 Гц) и практически с той же амплитудной модуляцией. При достижении волнами с частотами 600 и 624 Гц предельных для них высот они должны были распасться, причем вторичный комплекс (24 Гц с модуляцией около 0.01 Гц) должен был продолжить движение до высот распада несущей. После

Таблица 1. Некоторые характеристики использованных в эксперименте датчиков МВК

Датчик	Число составляющих	Диапазон частот	Уровень шума
Магнитное поле (B_x, B_z, B_y)	3	10 Гц ... 40 кГц	≤ 0.02 пТл/Гц ^{1/2} при 1 кГц
Электрическое ОНЧ-поле ($E = E_2 - E_1$)	1	10 Гц... 40 кГц	$\leq 10^{-6}$ В/Гц ^{1/2} при 1 кГц
Постоянное магнитное поле (BM_x, BM_y, BM_z)	3	DC-100 Гц	≤ 10 пТл/Гц ^{1/2} при 1 Гц

ле этого, как показано в ряде работ, распространяется сигнал, по форме близкий к огибающей («атмосферное детектирование») [9, 10]. Этот сигнал согласно расчетам на основании модели MSISE2000 должен достичь ионосферных высот примерно через 4.5 мин после начала генерации. Такая схема во многом напоминает ставшую классической схему ВЧ-радионагрева ионосферы, в свое время предложенную Г. Г. Гетманцевым, за тем исключением, что начальный этап (этап генерации) в нашем случае по необходимости сделан двухстадийным.

Показано, что при средней длительности работы НУА-излучателя в 60 с общая излученная акустическая энергия на четыре порядка меньше, чем энергия, выделившаяся на земле при взрыве в эксперименте МАССА (230 т тринитротолуола). Однако в данной установке возможно устанавливать различную длительность пакетов, интервалы между ними и их количество (длительность сеанса воздействия).

Радиотелескоп УРАН-3 — ФМИ им. Г. В. Карпенко НАН Украины (расположен возле г. Шацк Волынской области в 200 км на север от Львова). Специалистами Физико-механического института имени Г. В. Карпенко НАН Украины на базе декаметрового радиотелескопа УРАН-3 создан информационно-измерительный комплекс (ИИК), предназначенный для дистанционного радиозондирования искусственных акустико-ионосферных возмущений [3, 5].

Информационно-измерительный комплекс позволяет проводить исследования состояния ионосферы на основе нескольких радиофизических методов, а именно: радиоастрономического метода с использованием в качестве зондирующего радиоизлучения космических радиоисточников, метода наклонного радиозондирования ионосферы и метода рассеяния радиоволн на мелкомасштабных ионосферных неоднородностях с использованием в качестве зондирующих сигналов станций радиовещания или специальных станций. Каждый из методов использует как информационные соответственно следующие сигналы: прошедший через ионосферу, отраженный от ионосферы и рассеянный ионосферой. Совместное использование

нескольких методов, в которых используются информационные радиосигналы, сформированные на основе разных механизмов акустической стимуляции электромагнитных эффектов в ионосферной плазме, повышает достоверность выявления и идентификации слабых акустических ионосферных возмущений. При этом наблюдения могут проводиться в одном из трех режимов:

- измерения и исследования характеристик отраженных ионосферных радиосигналов в зависимости от угла места;
- измерения и исследования амплитудных и поляризационных характеристик, а также доплеровской частоты отраженных или рассеянных радиосигналов;
- радиоинтерферометрические исследования прошедшего через ионосферу космического радиоизлучения.

Экспериментально установлено, что реализованные на основе разработанного ИИК УРАН-3 радиофизические методы дистанционной диагностики ионосферы дают возможность выявлять и идентифицировать искусственные акустические ионосферные возмущения, вызванные излученной за 60 с акустической энергией у поверхности Земли около 2 МДж.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРЕДЫДУЩИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

1. В периоды с ноября по декабрь 1996 г. и с апреля по октябрь 1997 г. совместно ЛЦ ИКИ НАН и ГКА Украины и ФМИ НАН Украины были выполнены исследования искусственных акустико-ионосферных возмущений радиоастрономическим методом с использованием НУА-излучателя и радиотелескопа УРАН-3, [2, 6, 8, 24, 25, 27]. Исследования проводились на частоте 25 МГц. Акустическая волна излучалась НУА-излучателем, который функционировал в режиме однократного или n -кратного 60-с звучания с 60-с паузами между ними.

После обработки экспериментальных записей, зарегистрированных в процессе 24 сеансов наблюдений, выявлены импульсные всплески радиосигналов, которые идентифицированы как реакция ионосферы на акустическое возму-

щение и время задержки которых относительно начала акустического возмущения коррелирует с работой НУА-излучателя. По результатам статистической обработки результатов экспериментов было установлено наличие следующих устойчивых значений времен задержки, а именно: $T = 5.8 \pm 0.5$ мин, 20.7 ± 2.3 мин, 29.3 ± 1.3 мин, 41.7 ± 2.3 мин, 59.6 ± 4.2 мин.

2. В 2006 г. были проведены совместные эксперименты ЛЦ ИКИ НАН и ГКА Украины и Институтом ионосферы МОН Украины по идентификации акусто-ионосферных эффектов с помощью методов некогерентного рассеяния и вертикального зондирования. Обнаруженные эффекты свидетельствовали о том, что акустическое воздействие изменяет вертикальную структуру нейтральной атмосферы. В отдельных экспериментах после действия акустического сигнала наблюдались изменения параметров нижней ионосферы. Однако однозначно связать их с действием акустического сигнала было сложно из-за небольшого количества экспериментов.

3. В ЛЦ ИКИ НАН и ГКА Украины в 2005 — 2006 гг. была проведена серия экспериментов по изучению влияния акустических возмущений в атмосфере на прохождение электромагнитного излучения ОНЧ-диапазона через ионосферу сверху. Выполнялся анализ сигналов, зарегистрированных наземным приемником ОНЧ-диапазона, путем сравнения распределе-

ния плотности фоновых вистлеров на протяжении одного часа до акустического возмущения и одного часа после. Было установлено, что временной промежуток с 5 по 50 мин после генерации акустического сигнала на поверхности Земли характеризуется возрастанием плотности вистлеров, что может свидетельствовать о возрастании прозрачности ионосферы для волн ОНЧ-диапазона.

4. Для дальнейшего изучения возможного акустически индуцированного явления возрастания радиопрозрачности ионосферы также была проведена серия наземно-космических экспериментов с прохождением излучения снизу вверх. В качестве приемника выступала соответствующая бортовая аппаратура европейского спутника «Demeter», а в качестве реперных сигналов ОНЧ использовалось излучение навигационных станций РСДН-20 («Альфа») с частотами 11, 13 и 15 кГц. Эксперименты проводились как с использованием акустического возмущения, так и в его отсутствие. В результате оказалось, что интенсивность ОНЧ-излучения, зарегистрированного на борту спутника после акустического возмущения, существенно (на несколько порядков) выше, чем при его отсутствии.

СХЕМА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА «ЛИНК-ЧИБИС»

Дата проведения эксперимента (28 ноября 2013 г.) и исходные данные для планирования (приведены в табл. 2—4) были выбраны на основе ситуационного анализа. Географические координаты наземного пункта Львов составляют: 49.833° N, 24.000° E; $LST = UTC + 2$. Благодаря особенностям орбиты МС на широте г. Львова движение осуществляется практически в направлении запад — восток, причем в светлый период указанного дня наблюдалось пять прохождений с разным удалением от указанного наземного пункта.

Последовательность операций в эксперименте представлена на рис. 1. В момент времени 1, когда спутник находится на значительном удалении от предполагаемой зоны возмущенной среды, производится акустическое возмущение. Во время пролета спутника над зоной возмущения

Таблица 2. Исходные данные по КА, использованные в расчетах траектории по модели SGP4

Название	CHIBIS-M (RS-39)
Номер NORAD	38051
Номер COSPAR	2011-062-C
Эпоха	10:28:25 UTC 18 ноября 2013 г.
Наклонение	51.635
Эксцентриситет	0.0011334
Оборотов за сутки	15.38106808
Период	93.62 мин
Большая полуось	6 830 км
Перигей	444 км
апогей	459 км

(моменты времени 2, 3 и далее вдоль орбиты), его бортовая аппаратура фиксирует вариации электрического и магнитного полей до завершения сеанса измерений. Учитывая многочисленные наземные наблюдения за вариациями геомагнитного и геоэлектрического полей после акустических возмущений, реакция на возмущение ожидается приблизительно с пятой минуты после начала возмущения.

Таким образом, момент 1 времени включения акустического излучателя выбирается в пределах от 5 мин и более перед моментом 2.

В эксперименте 28.11.2013 г. согласно программе МС «Чибиc-М» пять раз пролетал вблизи точки расположения акустического излучателя, в связи с чем было запланировано пять сеансов наблюдений, два из которых (второй и четвертый) были активными, с наличием наземного акустического излучения (см. табл. 4). Временная диаграмма работы излучателя показана на рис. 2. Длительность состояний «включено» и «выключено» составляла 60 с.

Грубые оценки времен прихода переднего фронта акустического возмущения на вы-

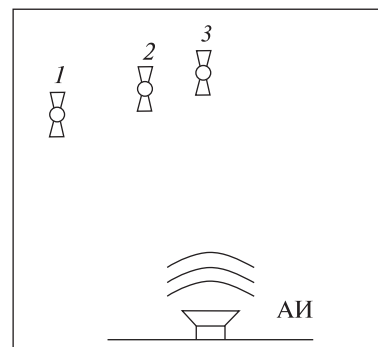


Рис. 1. Схема проведения эксперимента: АИ — акустический излучатель, 1 — положение спутника в момент включения акустического излучателя, 2 — положение спутника в момент начала сеанса регистрации, 3 — положение спутника над точкой размещения акустического излучателя

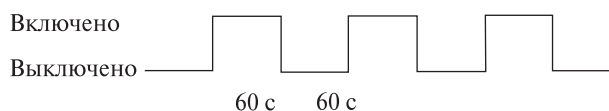


Рис. 2. Временная диаграмма работы акустического излучателя

Таблица 3. Наземно-орбитальная конфигурация, оптимальная для эксперимента (время наибольшего сближения н/п и КА и дистанция между ними, азимут и высота над горизонтом КА относительно н/п в это время)

UTC	Восточная долгота	Северная широта	Высота, км	Азимут	Высота	Дистанция, км	Номер витка
07:30:26	23.87°	49.74°	452.67	227.1°	87.7°	452.7	10 299
09:08:11	24.71°	51.72°	451.19	12.6°	62.8°	502.5	10 300
10:45:41	23.39°	48.41°	448.92	196.8°	68.3°	480.2	10 301
12:24:41	23.37°	37.64°	445.16	182.5°	11.5°	1469.6	10 302

Таблица 4. Схема включений акустического излучателя в эксперименте 28 ноября 2013 г. (время киевское)

Номер сеанса	Вход КА в зону радиовидимости	Выход КА из зоны радиовидимости	Время наибольшего сближения КА к н/п Львов	Время включения акустического излучателя
1	7:49	7:59	7:52	Без излучения
2	9:25	9:37	9:32	9:07
3	11:03	11:15	11:08	Без излучения
4	12:40	12:52	12:46	12:36
5	14:18	14:29	14:25	Без излучения

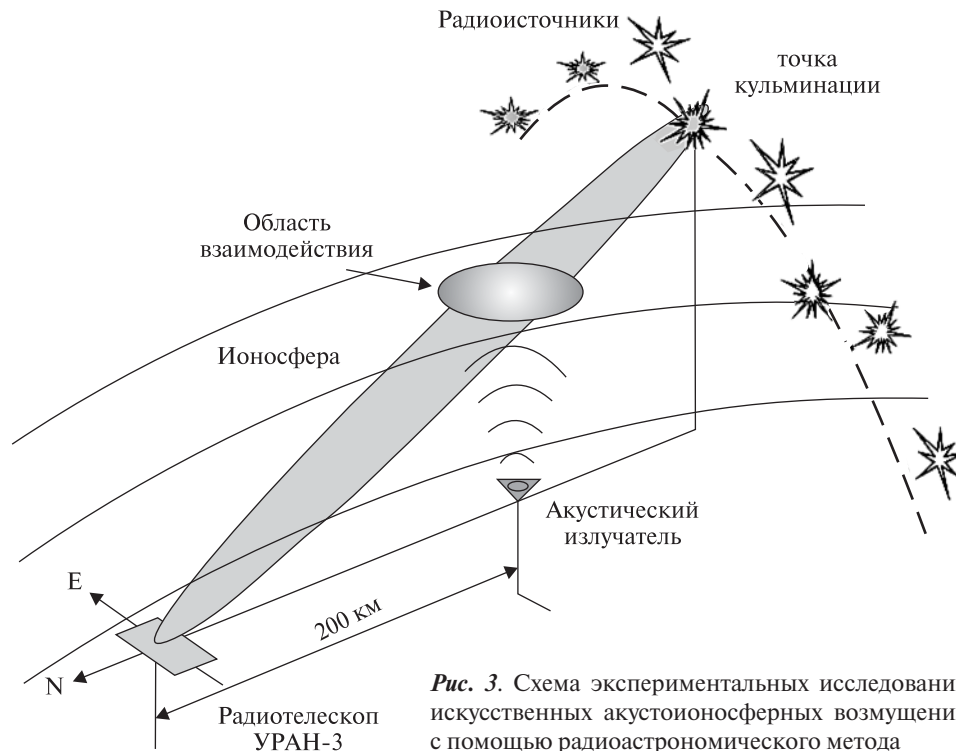


Рис. 3. Схема экспериментальных исследований искусственных акустоионосферных возмущений с помощью радиоастрономического метода

соту орбиты КА, составляющую 450 км, дают

$$\Delta t \sim \int_0^H dz / c(z) \approx 10 \text{ мин при использовании ат-}$$

мосферной модели MSISE2000 и, соответственно, 15 мин — для заднего фронта.

Для второго сеанса наблюдений (активного) момент времени 1 (рис. 1) был выбран за 20 мин до момента 2. Для четвертого сеанса (также активного) — за 10 мин.

В ходе эксперимента производились такие измерения:

- определение изменений радиопрозрачности ионосферы по изменению интенсивности космических источников;
- наземные наблюдения вариаций фонового ОНЧ-излучения;
- спутниковые наблюдения вариаций ОНЧ-излучения наземных радиостанций;
- регистрации сигналов от датчиков электрического и магнитного поля бортового комплекса МВК МС «Чибис-М».

Схема эксперимента по определению изменений радиопрозрачности ионосферы по изменению интенсивности космических источников приведена на рис. 3. В этом методе радиоизлучение космических радиоисточников используется в качестве зондирующего с дальнейшей регистрацией радиоизлучения группы космических источников (галактического фона) при фиксированном положении диаграммы направленности РТ УРАН-3. Геометрия эксперимента выбиралась таким образом, чтобы радиоизлучение космических источников могло взаимодействовать с акустической волной на высотах порядка 100—200 км.

Метод основывается на регистрации и анализе временных реализаций радиоизлучения космических радиоисточников, прошедшего сквозь ионосферу [7]. В эксперименте изучались особенности этих реализаций при воздействии на ионосферу акустического излучения НУА-излучателя, а также исследовалось, по каким информационным параметрам косми-

ческого радиоизлучения могут быть идентифицированы искусственные акустоионосферные возмущения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Анализ состояния космической погоды. Для корректной идентификации ионосферных возмущений по данным измерений с помощью наземных и спутниковых средств необходимо иметь информацию о фоновом состоянии ионосферы в период выполнения эксперимента.

С целью предварительного анализа ситуации мы попытались ответить на вопросы: 1) каково было состояние ионосферы, контролируемое стандартными средствами, накануне, в день экспозиции и последующие дни? 2) были ли какие-то аномалии в суточном ходе магнитного поля, судя по наземным измерениям? 3) можно ли приписать такие аномалии (если они есть) влиянию факторов космической погоды или их можно соотнести с наземными факторами?

Для этого были использованы данные всемирной магнитометрической сети INTERMAGNET, данные об индикаторах состояния космической погоды (индексы A_p , K_p , AU , AL , $F_{10.2}$, максимальные за текущие сутки значения скорости солнечного ветра, южной составляющей межпланетного магнитного поля (ММП), наличие в солнечном ветре ударных волн).

Для анализа локальных геомагнитных возмущений были взяты поминутные данные за 30 дней ноября 2013 г., полученные во Львовской магнитной обсерватории сети INTERMAGNET, и расположенной на 7° к югу магнитной обсерватории этой сети в Панагюриште (Болгария). Было установлено, что вариации геомагнитного поля на протяжении 10 сут перед экспериментом соответствовали спокойному состоянию.

Анализ индексов возмущенности ионосферы AU , AL , AE (WDC for Geomagnetism, Kyoto) дал спокойное состояние ионосферы 25, 26, 27, 28 ноября примерно до 16:00 UT 28.11.2013 г., после чего 10 станциями в приполярной области было зафиксировано нарастание уровня возмущений. То же относится к индексу D_{st} . Поэтому можно предположить, что в первой половине 28 ноября 2013 г. вход в авроральную ионосферу существ-

венных колебаний магнитогидродинамического типа был маловероятен. Соответственно, вероятность возникновения движущегося к югу блуждающего ионосферного возмущения (TID) представляется малой. Следовательно, можно исключить появление существенных периодических вариаций ТЕС в зоне эксперимента, связанных с прохождением TID.

Потоки от Солнца ($F_{10.2}$) на протяжении 26 и 27 ноября, а также в день эксперимента (28 ноября) были на обычном уровне и не содержали особенностей. Усиление солнечного ветра (по скорости, южной составляющей) началось на следующий день, в 10 — 12 ч 29 ноября и связано с усилением активности Солнца, начавшимся в этот день.

Суммарно, заключаем, что в период проведения эксперимента фоновое состояние ионосферы было спокойным, возникновение ионосферных неоднородностей за счет влияния факторов космической погоды было маловероятным.

2. Результаты наземных наблюдений вариаций ОНЧ-излучений. В ходе эксперимента в ЛЦ ИКИ проводилась регистрация вариаций электромагнитных волн диапазона ОНЧ в области над излучателем, интенсивность которых может служить оценкой воздействия акустического возмущения на ионосферу.

При регистрации фиксировалось количество появлений электронных и ионных свистов за каждые 180 с. Распределение количества этих свистов представлено на рис. 4. На основе графика можно сделать качественный вывод, что после акустического возмущения интенсивность сигналов ОНЧ длительное время имеет высокий уровень. Это позволяет оценить предполагаемое время реакции среды на акустическое возмущение.

3. Результаты спутниковых наблюдений вариаций ОНЧ-излучений. Во время эксперимента с помощью приборов МС «Чиби́с-М» проводились наблюдения ОНЧ-излучения наземных станций, прошедшего через ионосферу. Для выявления возможного возрастания необходимо было иметь записи ОНЧ-излучения на частотах радиомаяков также и без включения акустического излучателя.

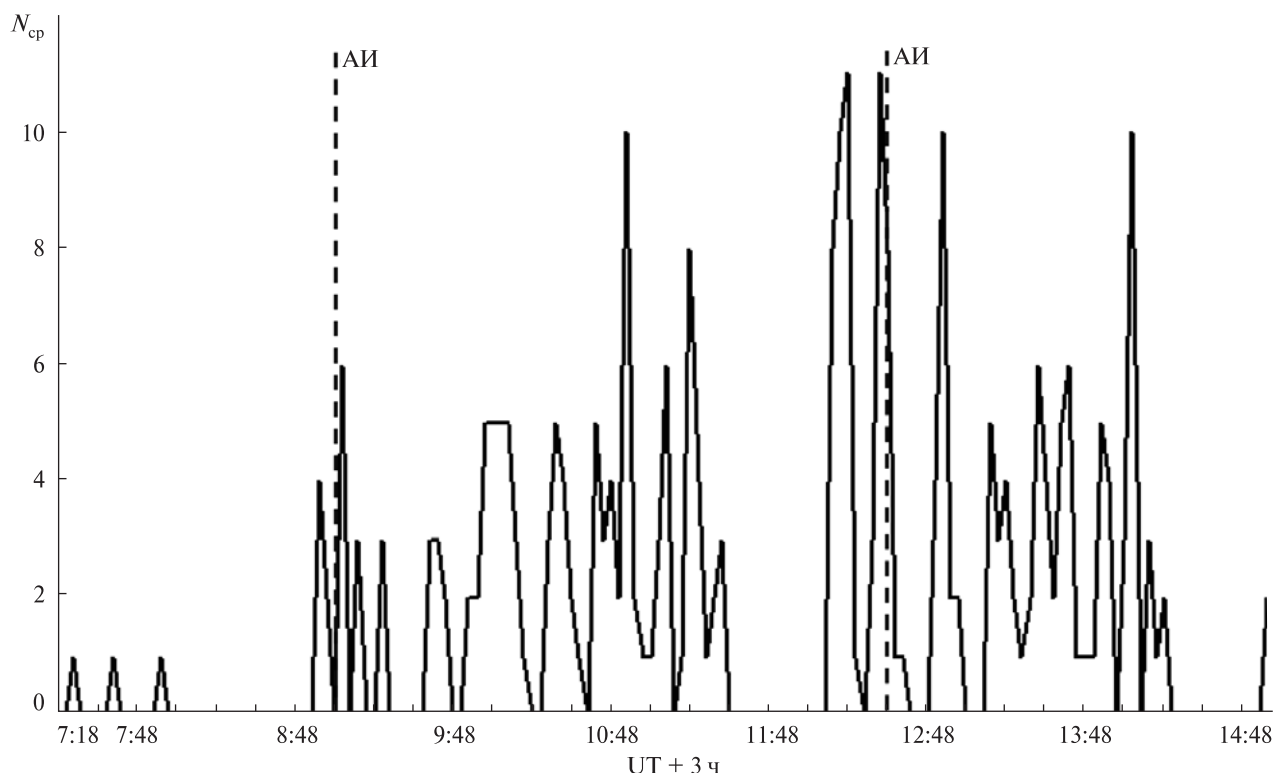


Рис. 4. Распределение количества электронных и ионных свистов (AI — момент акустического излучения)

В качестве реперных сигналов использовались радиосигналы станций системы РСДН-20 с частотами 11—15 кГц. Однако технически спутниковые записи данных ОНЧ-излучения удалось осуществить лишь с частотой дискретизации, существенно меньшей, чем необходимо для качественной записи и обнаружения искомых сигналов.

Кроме того, в выполненных сеансах измерений минимальное расстояние проекции орбиты спутника до точки акустического возмущения составляло 150 км и более, что существенно превышает оценки для горизонтальных размеров возмущенной области ионосферы, полученные ранее в ходе аналогичных экспериментов со спутником «Demeter».

Таким образом, данные этого эксперимента не будут учтены при комплексной обработке.

4. Исследования с помощью радиотелескопа УРАН-3. В процессе подготовки и проведения эксперимента «ЛИНК-Чибис» последовательно

регистрировалось радиоизлучение галактического фона без акустического возмущения и во время работы НУА-излучателя.

На рис. 5 (см. цветную вклейку) приведена экспериментальная запись динамического спектра радиоизлучения галактического фона в полосе 16 — 32 МГц (рис. 5, а) и его временной профиль на частоте 24 МГц (рис. 5, б). Запись проведена 24.11.2013 г. в отсутствие акустического излучения НУАИ. Время суток для данной записи совпадает со временем работы НУАИ (стрелка) 28.11.2013 г. в соответствии с графиком пролета микроспутника «Чибис-М» над территорией Западной Украины.

На рис. 5, в, г приведены экспериментальные записи (28.11.2013 г. в период с 07:00:00 UT до 08:00:00 UT во время пролета МС «Чибис-М» над территорией Западной Украины): динамического спектра радиоизлучения Галактического фона в полосе 16—32 МГц (рис. 5, в) и его временного профиля на частоте 24 МГц (рис. 5, г). Красной

стрелкой обозначено время начала акустического излучения (07:07:00 UT или 09:07:00 по киевскому времени). Напоминаем, что НУА-излучатель функционировал в режиме трехразового 60-с излучения с 60-с паузами между ними.

5. Интерпретация результатов измерений с помощью радиотелескопа УРАН-3. Без акустического возмущения (рис. 5). Запись радиоизлучения галактического фона без акустического возмущения в выбранном участке небесной сферы, который был определен с учетом координат радиотелескопа УРАН-3, МС «Чибис-М» и НУА-излучателя, а также предполагаемой ионосферной высоты распространения акустической волны, характеризуется достаточно равномерным уровнем радиоизлучения фона во всей полосе 16—32 МГц и равномерным распределением кратковременных (очень малой длительности) случайных электромагнитных помех (например, на записи рис. 5, а на частоте 24 МГц).

После акустического возмущения (рис. 5, в, г). После акустического возмущения, которое началось в 07:07:00 UT (красные стрелки), примерно через 4.5 мин от его начала, что соответствует времени вертикального распространения акустической волны до высот нижней ионосферы (~ 80 км), наблюдается возрастание интенсивности космического радиоизлучения фона (белая стрелка на рис. 5, в и голубая стрелка на рис. 5, г), что, с учетом приведенных выше данных о спокойном состоянии ионосферы, может указывать на увеличение прозрачности ионосферной плазмы при распространении через нее декаметрового радиоизлучения космических радиоисточников [25].

Примерно через 40 мин от начала акустического возмущения (с 07:46 UT до 07:56 UT, зеленые стрелки на рис. 5, г) наблюдается появление повторного электромагнитного отклика, можно ожидать, что это есть следствие генерации и распространения вдоль магнитных силовых линий движущихся ионосферных возмущений искусственного акустического происхождения.

Результаты наблюдений искусственно вызванной акустической модификации ионосферы при работе НУА-излучателя, полученные в процессе проведения эксперимента 28.11.2013 г., хорошо

коррелируют с результатами описанных выше экспериментов 1996—1997 гг.

В эксперименте 28.11.2013 г. также определены задержки реакции ионосферы, соответствующие первой и четвертой из полученных в предыдущих экспериментах оценок, а именно: $T \approx 4.5$ и 40 мин.

6. Результаты экспресс-обработки данных с МС «Чибис-М» 28.11.2013 г. На рис. 6 (см. цветную вклейку) приведены трасса МС «Чибис-М» во время измерений и полученные частотно-временные диаграммы составляющих магнитного (B_z) и электрического (E) поля при наличии акустического возмущения (момент включения 07:07 UT) для отрезка времени 07:26:41 — 07:37:05 UT 28 ноября 2013 г. На рис. 7 и 8 (см. цветную вклейку) приведены такие же данные соответственно для отрезков времени 09:04:41 — 09:15:02 UT (в отсутствие акустического возбуждения) и 10:41:41 — 10:52:06 UT (с акустическим возбуждением, момент включения 10:36 UT). Из сравнения диаграмм можно заключить, что как для магнитного, так и для электрического поля имеются отличия между случаями отсутствия и наличия акустического возмущения. Появляются выраженные линейчатые структуры (в записи — короткие широкополосные импульсы длительностью 6—7 с, что при скорости КА в 7.9 км/с составляет примерно 50 км, при этом расстояние между линейными элементами — от 50 до 500 км), максимальная мощность смещается в низкочастотную область (≤ 8 Гц). Более детально низкочастотную структуру видим на рис. 5, д (см. цветную вклейку), где максимум расположен в диапазоне 0.1—0.8 Гц.

ВЫВОДЫ

1. Результаты наземных наблюдений свидетельствуют об изменении состояния ионосферы под воздействием акустических возмущений.

2. Подтверждена эффективность ИИС на базе декаметрового радиотелескопа УРАН-3, для дистанционного зондирования наземными средствами изменений состояния ионосферной плазмы, обнаружены корреляции времен возникновения радиопрозрачности и прихода в ионосферу (на высоту примерно 80 км) акусти-

ческого возмущения, созданного акустическим генератором ЛЦ ИКИ, причем существенных вариаций ТЕС в этой области ионосферы зафиксировано не было.

3. На данных во всем диапазоне частот датчиков МВК МС «Чибис-М» не просматриваются специфические отличия сигналов на удалении приблизительно ± 100 км (± 12 с) до и после ближайшей точки орбиты спутника к точке нахождения акустического излучателя.

4. Из сравнения диаграмм «частота — время» для измерений МВК МС «Чибис-М» можно заключить, что как для магнитного, так и для электрического поля имеются отличия между случаями отсутствия и наличия акустического возмущения на временах порядка 20 мин после включения акустического возмущения.

5. Установлена необходимость комплексного применения наземного управляемого акустического излучателя, КА типа «Чибис-М» и наземных средств типа радиотелескопа УРАН-3 для проведения исследований искусственной акустической модификации ионосферы и набора статистики.

6. Результаты эксперимента (по наземной, атмосферной и ионосферной части) представленные в исследовательской базе данных, как ожидается, будут служить основой для развития нового комплексного направления — наземно-космического акустического исследования состояния ионосферы.

Работа поддержана Целевой комплексной программой НАН Украины по космическим исследованиям на 2012—2016 гг.

1. Гохберг М. Б., Шалимов С. Л. Литосферно-ионосферная связь и ее моделирование // Российский журн. наук о Земле. — 2000. — 2, № 2. — С. 95—108.
2. Дистанційне радіозондування слабких акусто-іоносферних збурень з використанням радіофізичних комплексів на базі радіотелескопа УРАН-3: Експериментальні і теоретичні дослідження декаметрового радіовипромінювання галактичних та позагалактичних джерел методом інтерферометрії: (Звіт про НДР) / Фізико-механічний інститут НАН України. — № 0197U003373. — Львів. 1999. — С. 223—330.
3. Досин Д. Г., Ивантишин О. Л., Кошовый В. В., Лозинский А. Б. Ионосферно-диагностический комплекс ИДК УРАН-3 // Відбір і обробка інформації. — 1997. — Вип. 11(87). — С. 3—7.
4. Исследование и разработка методов восстановления радиоизображений и радиоакустики для изучения влияния солнечной акустики в декаметровом диапазоне волн на процессы в ионосфере и тропосфере: (Отчет по НИР) / Физико-механический институт АН Украины. — Львов, 1991. — 370 с.
5. Ивантишин О. Л. Інформаційно-вимірний комплекс на базі радіотелескопа УРАН для дослідження слабких акусто-іоносферних збурень: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Львів: Фізико-механічний інститут імені Г. В. Карпенка НАН України, 2007.
6. Кошевой В. В. Радиофизическая и радиоастрономическая диагностика ионосферных эффектов, вызванных наземным инфразвуковым излучателем (предварительные результаты) // Изв. вузов. Радиофизика. — 1999. — 42, № 8. — С. 785—798.
7. Кошовый В. В., Ивантишин О. Л. Дослідження штучних акусто-іоносферних збурень радіоастрономічним методом // Відбір і обробка інформації. — 1999. — Вип. 13(89). — С. 21—25.
8. Кошовый В. В., Сорока С. О. Акустичне збурення іоносферної плазми наземним випромінювачем. I. Експериментальне виявлення акусто-іоносферних збурень // Космічна наука і технологія. — 1998. — 4, № 5/6. — С. 3—17.
9. Краснов В. М. Характеристики распространения слабых ударных волн в неоднородной атмосфере // Акуст. журн. — 1993. — 39, № 3. — С. 498—504.
10. Краснов В. М., Кулешов Ю. В. Изменение спектра инфразвукового сигнала при распространении волн от земной поверхности до высот ионосферы // Акуст. журн. — 2014. — 60, № 1. — С. 21—30.
11. Незода А. А., Сорока С. А. Перспективы развития исследований атмосферы ионосферы с использованием искусственного акустического воздействия // Космічна наука і технологія. — 1999. — 5, № 2/3. — С. 3—12.
12. Новиков Д. И., Климов С. И., Корепанов В. Е. и др. Магнитно-волновой комплекс микроспутника «Чибис-М» для изучения электромагнитных параметров космической погоды // Сер. «Механика, управление и информатика»: сб. тр. / Под ред. Р. Р. Назирова. — М.: ИКИ РАН, 2009. — С. 78—89. — <http://www.cosmos.ru/books/2009chibis-m.pdf>.
13. Руденко О. В. Нелинейные пилообразные волны // Успехи физ. наук. — 1995. — 165, № 9. — С. 1011—1036.
14. Спосіб оцінювання інфразвукової обстановки на поверхні землі на основі акусто-електромагнітного моніторингу іоносфери: Дек. пат. на кор. мод. № 59531, Україна, МПК G01W 1/08. — № u201010307; заявл. 25.10.2010; опубл. 25.05.2011, Бюл. № 10. — 4 с.

15. Черемных О. К., Селиванов Ю. А., Захаров И. В. Влияние сжимаемости и неизотермичности атмосферы на распространение акусто-гравитационных волн // Космічна наука і технологія. — 2010. — **16**, № 1. — С. 9—19.
16. Aburjania G. D., Machabeli G. Z. Generation of electromagnetic perturbations by acoustic waves in the ionosphere // J. Geophys. Res. — 1998. — **103**, N A5. — P. 9441—9447.
17. Aramyan A. R., Galechyan G. A., Harutyunyan G. G., et al. Modeling of interaction of acoustic waves with Ionosphere // IEEE Trans. Plasma Sci. — 2008. — **36**, N 1. — P. 305—309.
18. Aramyan A. R., Galechyan G. A., Harutyunyan G. G., Manukyan G. V. Transformation of acoustic waves in upper atmosphere // Laser Phys. — 2010. — **20**, N 1. — P. 298—301.
19. Blanc E. Observations in the upper atmosphere of infrasonic waves from natural or artificial sources: a summary // Ann. geophys. — 1985. — N 3. — P. 673—688.
20. Donn W. L., Rind D. Natural infrasound as an atmospheric probe // Geophys. J. Roy. Astron. Soc. — 1971. — N 26. — P. 111—133.
21. Drobzheva Ya. V., Krasnov V. M. The spatial structure of the acoustic wave field generated in the atmosphere by a point explosion // Acoustical Phys. — 2001. — **47**, N 5. — P. 556—564.
22. Galperin Yu., Hayakawa M. On a possibility of parametric amplifier in the stratosphere-mesosphere suggested by active MASSA experiments with the AUREOL-3 satellite // Earth Planets Space. — 1998. — N 50. — P. 827—832.
23. Garces M., Drob D. P., Picone J. M. A theoretical study of the effect of geomagnetic fluctuations and solar tides on the propagation of infrasonic waves in the upper atmosphere // Geophys. J. Int. — 2002. — N 148. — P. 77—87.
24. Gotinyan O. E., Ivchenko V. V., Rapoport Yu. G. Model of the internal gravity waves excited by lithospheric greenhouse effect gases // Space Sci. and Technology. Suppl. — 2001. — **7**, N 2. — P. 26—33.
25. Grimalsky V. V., Koshevaya S. V., Perez-Enriquez R., Kotsarenko A. N. Nonlinear excitation of ULF atmosphere-ionosphere waves and magnetic perturbations caused by ELF seismic acoustic bursts // Phys. scr. — 2003. — **67**, N 3. — P. 453—456.
26. Hines C. O. Internal atmospheric gravity waves at ionospheric heights // Can. J. Phys. — 1960. — **38**. — P. 1441—1481.
27. Koshevaya S. V., Grimalsky V. V., Burlak G. N., et al. Magnetic perturbations excited by seismic waves // Phys. scr. — 2001. — **64**, N 2. — P. 172—176.
28. Koshevaya S. V., Grimalsky V. V., Siquieros-Alatorre J., et al. Acoustic and acousto-gravity wave pulses caused by sources of seismic origin // Phys. scr. — 2004. — **70**, N 1. — P. 72—78.
29. Koshovy V. V., Ivantyshyn O. L. Research of the artificial acousto-ionospheric disturbances // XXVIth General Assembly of the International Union of Radio Science: Abstracts (August 13—21, 1999, Toronto, Canada). — Toronto: University of Toronto, 1999. — P. 506.
30. Koshovy V., Nazarchuk Z., Romanyshyn I., et al. Acousto-electromagnetic investigations of an acoustical channel of the lithosphere-ionosphere interaction // XXVIII General Assembly of International Union of Radio Science (URSI): Proceedings (October 23—29, 2005, New Delhi, India). — New Delhi, 2005. — 4 p.
31. Kotsarenko N. Ya., Pérez Enriquez R., Koshevaya S. V. Excitation of plasma waves in the ionosphere caused by atmospheric acoustic waves // Astrophys. and Space Sci. — 1996. — **246**, N 2. — P. 211—217.
32. Kotsarenko N. Ya., Soroka S. A., Koshevaya S. V., Koshovy V. V. Increase of the transparency of the ionosphere for cosmic radiowaves caused by a low frequency wave // Phys. scr. — 1999. — **59**. — P. 174—181.
33. Laštovička J. Forcing of the ionosphere by waves from below // J. Atmos. and Solar-Terr. Phys. — 2006. — N 68. — P. 479—497.
34. Mityakov N. A. Parametric acoustic antenna in the atmosphere // Radiophys. and Quant. Electron. — 2006. — **49**, N 7. — P. 514—519.
35. Naugolnykh K. A., Rybak S. A. Sound propagation in an unstable atmospheric layer // Acoustical Phys. — 2007. — **53**, N 3. — P. 417—420.
36. Ostrovsky L. A. Ionospheric effects of ground motion: The roles of magnetic field and nonlinearity // J. Atmos. and Solar-Terr. Phys. — 2008. — N 70. — P. 1273—1280.
37. Pilipenko V. A., Fedorov E. N. Modulation of the total electron content in the ionosphere by geomagnetic pulsations // Geomagnetism and Aeronomy (eng. translation). — 1995. — **34**, N 4. — P. 516—519.
38. Pokhotelov O. A., Parrot M., Fedorov E. N., et al. Response of the ionosphere to natural and man-made acoustic sources // Ann. Geophys. — 1995. — **13**, N 11. — P. 1197—1210.
39. Rapoport V., Bespalov P., Mityakov N. A., et al. Feasibility study of ionospheric perturbations triggered by monochromatic infrasonic waves emitted with a ground-based experiment // J. Atmos. and Solar-Terr. Phys. — 2004. — **66**, N 12. — P. 1011—1017.
40. Rapoport Yu. G., Gotinyan O. E., Ivchenko V. M., et al. Effect of acoustic-gravity wave of the lithospheric origin on the ionospheric F region before earthquakes // Phys. Chem. Earth. — 2004. — **29**. — P. 607—616.
41. Rapoport Yu. G., Hayakawa M., Gotinyan O. E., et al. Stable and unstable plasma perturbations in the ionospheric F region, caused by spatial packet of atmospheric gravity waves // Phys. Chem. Earth. — 2009. — **34**. — P. 508—515.

Стаття надійшла до редакції 13.03.14

О. К. Черемных, С. И. Климов, В. Е. Корепанов,
В. В. Кошовый, М. О. Мельник, О. Л. Ивантишин,
В. П. Мезенцев, Р. Т. Ногач, Ю. Г. Рапопорт,
Ю. О. Селиванов, Л. П. Семенов

НАЗЕМНО-КОСМІЧНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ ЗІ ШТУЧНОЇ АКУСТИЧНОЇ МОДИФІКАЦІЇ ІОНОСФЕРИ. ПЕРШІ РЕЗУЛЬТАТИ

Наземно-космічний експеримент з дослідження впливу штучних акустичних збурень на іоносферу було проведено 28 листопада 2013 р. В експерименті були задіяні мікросупутник «Чібіс-М» (ІКД РАН), потужний стаціонарний акустичний випромінювач (ЛЦ ІКД НАНУ-ДКАУ) та декаметровий радіотелескоп УРАН-3 (ФМІ НАНУ). Під час експерименту було проведено п'ять сеансів реєстрації варіацій магнітних та електричних полів на борту супутника в моменти прольоту поблизу точки розташування акустичного випромінювача. Наведено результати попереднього аналізу підсумків експерименту.

O. K. Cheremnykh, S. I. Klimov, V. E. Korepanov,
V. V. Koshovy, M. O. Melnik, O. L. Ivantysyn,
V. P. Mezentsev, R. T. Nogach, Yu. G. Rapoport,
Yu. A. Selivanov, L. P. Semenov

GROUND-SPACE EXPERIMENT FOR ARTIFICIAL ACOUSTIC MODIFICATION OF IONOSPHERE. SOME PRELIMINARY RESULTS

Ground-Space experiment to investigate the impact of artificial acoustic radiation on the ionosphere was conducted on November 28, 2013. In experiment, there were used "Chibis-M" microsatellite by Institute for Space Research of Russian Academy of Sciences, powerful stationary acoustic emitter by Lviv Centre of Space Research Institute of National Academy of Sciences and State Space Agency of Ukraine and decameter radiotelescope URAN-3 by Institute of Physics and Mechanics of National Academy of Sciences of Ukraine. During the experiment, 5 sessions of registering magnetic and electric field variations on board of the microsatellite were conducted at the time of flight near the location of the acoustic emitter. The results of the preliminary analysis of the experiment outcome are presented.

ПОДПИСИ К ВКЛЕЙКЕ

Рис. 5. Динамический спектр радиоизлучения галактического фона и его временной профиль: *а, б* — запись 24 ноября 2013 г.; *в, г* — запись 28 ноября 2013 г. во время работы наземного управляемого акустического излучателя и пролета микроспутника «Чибис-М» над территорией Западной Украины; *д* — бортовые измерения электрического поля во время работы акустического излучателя (момент включения 07:07 UT) после применения фильтра высоких частот Баттерворта второго порядка с частотой среза 0.1 Гц

Рис. 6. Трасса МС «Чибис-М» (*а*) и частотно-временные диаграммы составляющих магнитного (*б, в*) и электрического (*г, д*) поля при наличии акустического возмущения (момент включения 07:07 UT), измеренных на борту МС «Чибис-М» в период 07:26:41 — 07:37:05 UT 28 ноября 2013 г.

Рис. 7. То же для отрезка времени 09:04:41 — 09:15:02 UT (в отсутствие акустического возбуждения, интервал измерений разбит на два подынтервала)

Рис. 8. То же для отрезка времени 10:41:41 — 10:52:06 UT (с акустическим возбуждением, момент включения 10:36 UT)

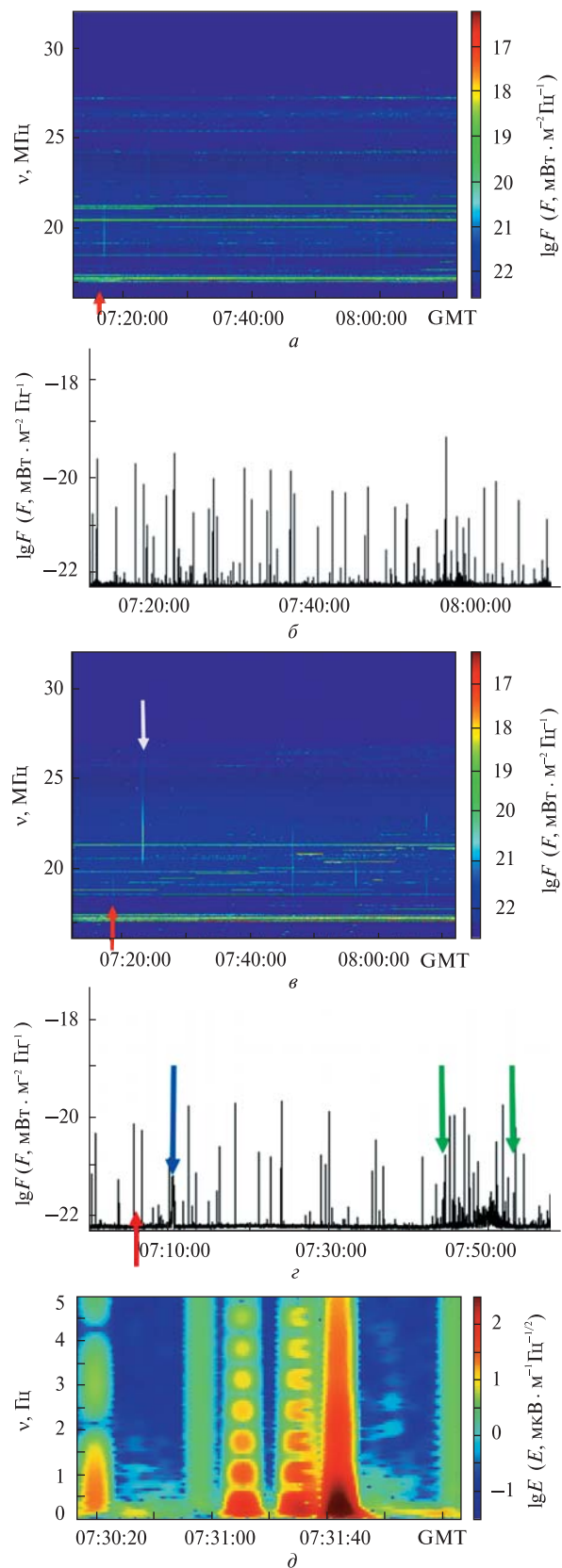


Рис. 5

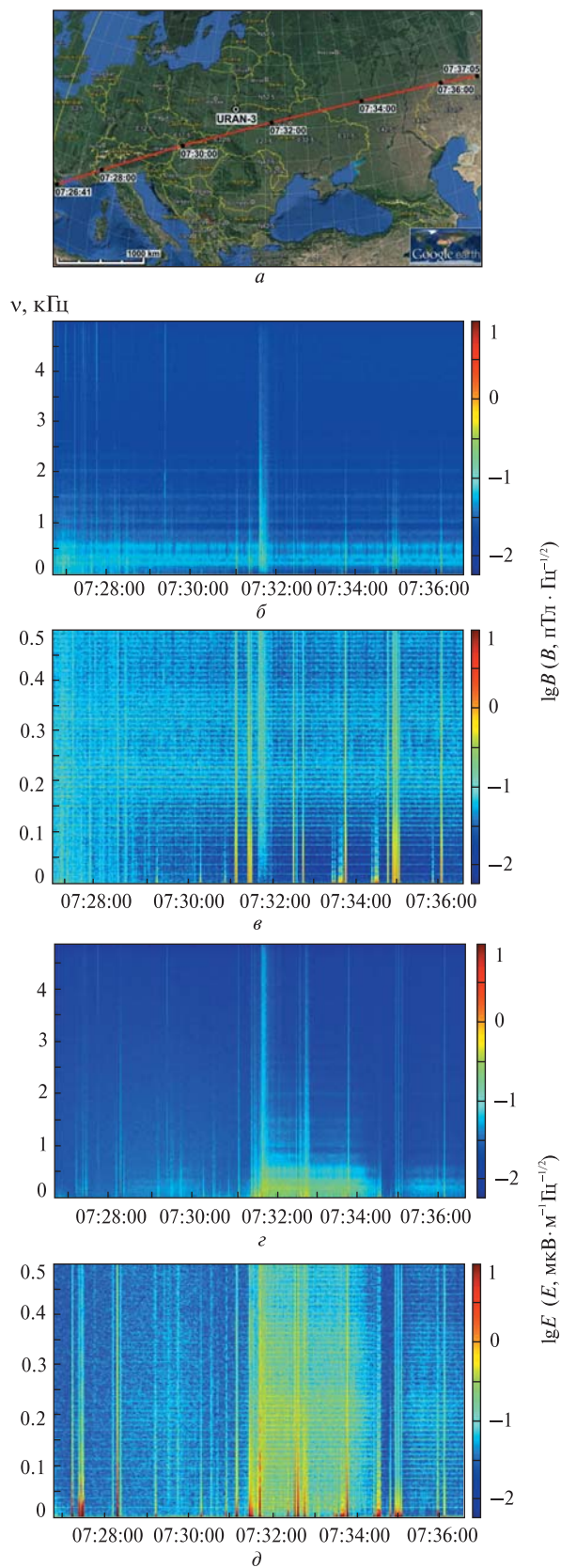
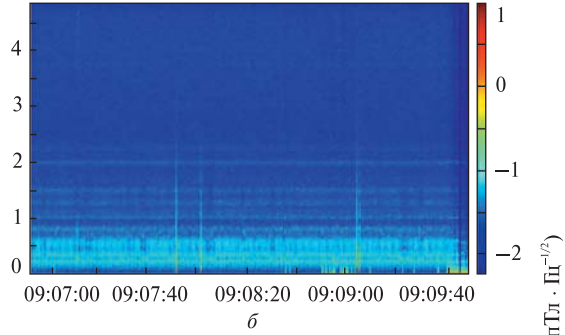


Рис. 6

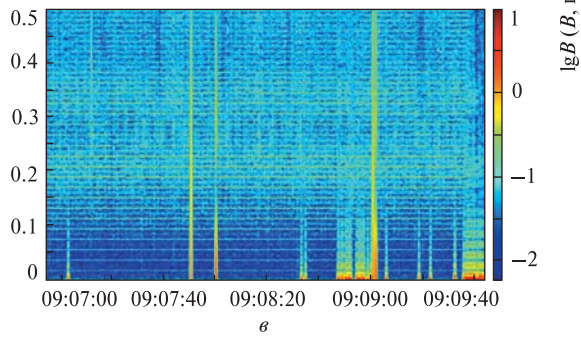


a

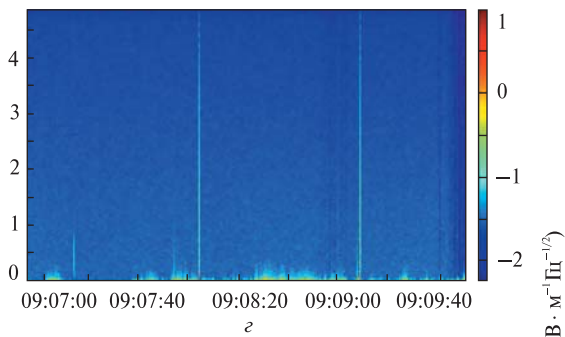
$\nu, \kappa \Gamma_{\Pi}$



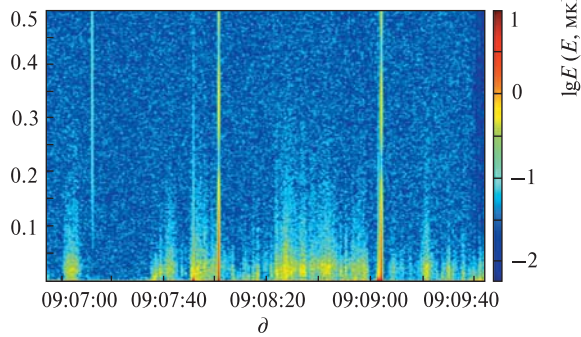
b



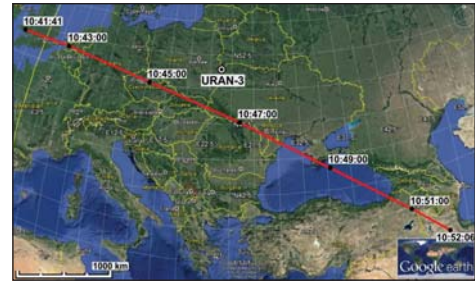
c



d

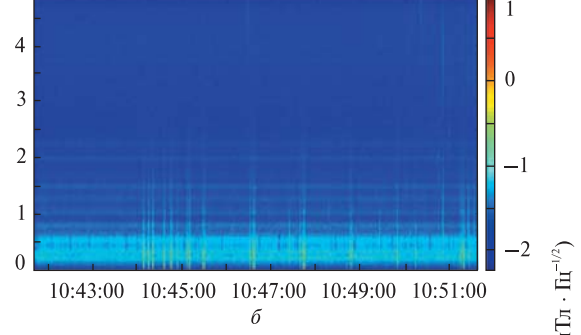


e

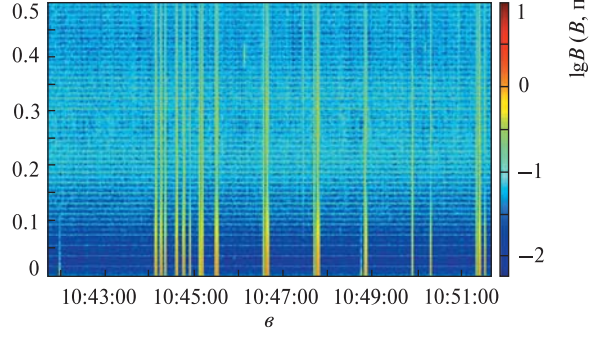


a

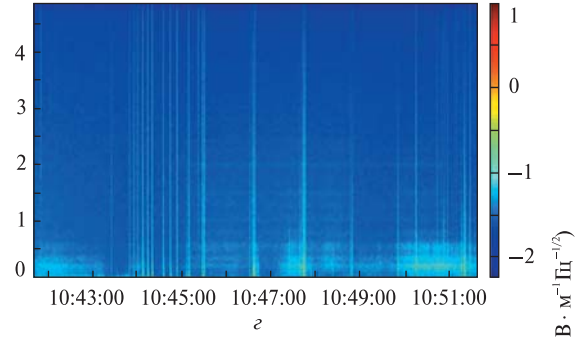
$\nu, \kappa \Gamma_{\Pi}$



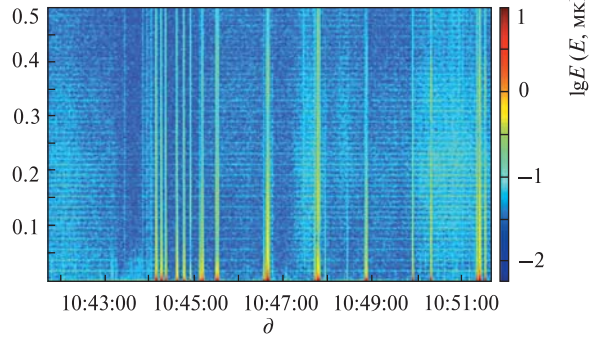
b



c



d



e

Рис. 7

Рис. 8

АЛПАТОВ Анатолій Петрович — очолює відділ системного аналізу та проблем управління Інституту технічної механіки Національної академії наук України та Державного космічного агентства України, доктор технічних наук, професор. Заслужений діяч науки і техніки України.

Напрямок науки — системний аналіз, динаміка та керування космічними апаратами; магнітні системи керування; динаміка багатокomпонентних керованих механічних систем; теорія рухливого керування; проблема космічного сміття.

ВАХНО Микола Іванович — президент та голова правління Публічного акціонерного товариства «Хартрон», кандидат технічних наук, доцент. Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки.

Напрямок науки — системи керування об'єктів ракетно-космічної техніки, автоматизовані системи керування технологічними процесами.

ВЕРЕЩАК Олександр Петрович — директор, голова правління, генеральний конструктор Публічного акціонерного товариства «АТ Науково-дослідний інститут радіотехнічних вимірювань», лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, заслужений машинобудівник України, доктор технічних наук, професор.

Напрямок науки — теорія і практика створення високоефективних радіометричних систем дистанційного зондування Землі із космосу, автоматизовані системи контролю у виробництві приладів ракетно-космічної техніки.

ДАНИЛИН Анатолій Борисович — начальник сектору Публічного акціонерного товариства «АТ Науково-дослідний інститут радіотехнічних вимірювань», старший науковий співробітник, кандидат технічних наук.

Напрямок науки — вимірювальні радіосистеми, радіолокаційні системи із синтезуванням апертури.

ДЕГТЯРЕВ Олександр Вікторович — Генеральний конструктор — Генеральний директор Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля», кандидат економічних наук, доктор технічних наук, академік Міжнародної академії астронавтики, заслужений машинобудівник України, почесний робітник космічної галузі України, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки.

Напрямок науки — ракетно-космічна техніка.

ДЮКОВ В'ячеслав Іванович — головний інженер Державного підприємства «Виробниче об'єднання Південний машинобудівний завод ім. О. М. Макарова», заслужений машинобудівник України.

Напрямок науки — технологія виробництва літальних апаратів.

ЖЕЛТОВ Павло Миколайович — заступник директора із спеціальної техніки Публічного акціонерного товариства «Український науково-дослідний інститут технології машинобудування», заслужений машинобудівник України.

Напрямок науки — технологія виробництва літальних апаратів.

ЗАЙЧЕНКО Олександр Миколайович — начальник відділення Публічного акціонерного товариства «АТ Науково-дослідний інститут радіотехнічних вимірювань», старший науковий співробітник, кандидат технічних наук.

Напрямок науки — вимірювальні радіосистеми, цифрова обробка сигналів.

ЗЛАТКІН Олег Юрійович — генеральний директор Науково-виробничого підприємства «Хартрон-Аркос», дійсний член Міжнародної академії навігації та керування рухом, почесний робітник космічної галузі України, кандидат технічних наук.

Напрямок науки — системи керування об'єктів ракетно-космічної техніки, автоматизовані системи керування технологічними процесами.

ІВАНТИШИН Олег Любомирович — завідувач лабораторії радіоастрономічних досліджень відділу фізичних методів розпізнавання слабконтрастних об'єктів у неоднорідних середовищах Фізико-механічного інституту імені Г. В. Карпенка Національної академії наук України, кандидат технічних наук.

Напрямок науки — методи і засоби радіоастрономічних досліджень іоносфери.

КЛІМОВ Станіслав Іванович — керівник лабораторії досліджень електромагнітних випромінювань Інституту космічних досліджень Російської академії наук, доктор фізико-математичних наук.

Напрямок науки — космічні дослідження, космічне приладобудування.

КОРЕПАНОВ Валерій Євгенович — заступник директора Львівського центру Інституту космічних досліджень На-

ціональної академії наук України та Державного космічного агентства України, доктор технічних наук. Заслужений діяч науки й техніки України, лауреат Державної премії та Премії Кабінету Міністрів України.

Напрямок науки — космічні дослідження, космічне приладобудування.

КОШОВИЙ Володимир Вікторович — завідувач відділу фізичних методів розпізнавання слабоконтрастних об'єктів у неоднорідних середовищах Фізико-механічного інституту імені Г. В. Карпенка Національної академії наук України, кандидат технічних наук.

Напрямок науки — методи аналізу та обробки даних вимірювань у складних середовищах.

МАЛАФЄЄВ Євген Євгенович — заступник директора Публічного акціонерного товариства «АТ Науково-дослідний інститут радіотехнічних вимірювань», старший науковий співробітник, кандидат технічних наук.

Напрямок науки — автоматизовані системи управління і системи обробки інформації.

МАРЧЕНКО Віктор Тимофійович — науковий співробітник Інституту технічної механіки Національної академії наук України та Державного космічного агентства України.

Напрямок науки — системний аналіз проблем техніко-економічного обґрунтування науково-технічних проєктів та космічних програм України.

МЕЗЕНЦЕВ Валентин Петрович — науковий співробітник відділу № 128 Львівського центру Інституту космічних досліджень Національної академії наук України та Державного космічного агентства України.

Напрямок науки — методи обробки даних космічних експериментів.

МЕЛЬНИК Микола Омелянович — завідувач відділу № 128 Львівського центру Інституту космічних досліджень Національної академії наук України та Державного космічного агентства України, кандидат технічних наук.

Напрямок науки — засоби і методи космічних досліджень

НОГАЧ Роман Тадейович — молодший науковий співробітник відділу № 128 Львівського центру Інституту космічних досліджень Національної академії наук України та Державного космічного агентства України.

Напрямок науки — електромагнітні ефекти при акустичних впливах на іоносферу.

ПИЛИПЕНКО Олег Вікторович — директор Інституту технічної механіки Національної академії наук України і Державного космічного агентства України, завідувач відділу віброзахисних систем, член-кореспондент Національної академії наук України, доктор технічних наук, професор, член-кореспондент Міжнародної академії астронавтики; заслужений діяч науки і техніки України, лауреат Державної премії України в галузі науки

і техніки та премії Національної академії наук України ім. М. К. Янгеля.

Напрямок науки — динаміка рідинних ракетних двигунних установок, складних гідромеханічних систем, систем віброзахисту об'єктів ракетно-космічної, автомобільної та військової техніки.

РАПОПОРТ Юрій Григорович — старший науковий співробітник фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка, кандидат фізико-математичних наук.

Напрямок науки — хвильові явища в космічній плазмі та наноструктурованих метаматеріалах.

САЗІНА Надія Петрівна — молодший науковий співробітник Інституту технічної механіки Національної академії наук України та Державного космічного агентства України.

Напрямок науки — системний аналіз проблем автоматизації розроблення, техніко-економічного обґрунтування та супроводу реалізації космічних програм України.

СЕЛІВАНОВ Юрій Олександрович — старший науковий співробітник відділу космічної плазми Інституту космічних досліджень Національної академії наук України та Державного космічного агентства України, кандидат фізико-математичних наук.

Напрямок науки — теоретична фізика, обчислювальна фізика.

СЕМЕНОВ Лев Петрович — начальник Управління космічних наукових досліджень та телекомунікаційних систем Державного космічного агентства України, кандидат технічних наук.

Напрямок науки — космічні дослідження та космічні апарати, технологія виробництва літальних апаратів.

ХАРЧЕНКО Володимир Вікторович — голова правління — директор Публічного акціонерного товариства «Український науково-дослідний інститут технології машинобудування», почесний робітник космічної галузі, нагороджений грамотою Кабінету міністрів України.

Напрямок науки — технологія виробництва літальних апаратів.

ХОРОЛЬСЬКИЙ Павло Петрович — старший науковий співробітник Інституту технічної механіки Національної академії наук України та Державного космічного агентства України.

Напрямок науки — системний аналіз космічної діяльності з дистанційного зондування Землі та проблем техніко-економічного обґрунтування космічних програм України.

ЧЕРЕМНИХ Олег Костянтинович — завідувач відділу космічної плазми Інституту космічних досліджень Національної академії наук України та Державного космічного агентства України, доктор фізико-математичних наук, професор.

Напрямок науки — фізика ближнього космосу, фізика плазми.

- Алпатов А. П., Марченко В. Т., Хорольський П. П., Сазі-на Н. П. Методологічні аспекти фінансово-економічного обґрунтування проєктів космічної техніки // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 6. — С. 49—59.
- Алпатов А. П. — див. Бомбарделли К.
- Архипов В. Т. — див. Засуха С. А.
- Атаманенко Б. А., Федонюк Р. В. Міжнародне співробітництво як інструмент участі в глобальних космічних проєктах // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 3. — С. 3—13.
- Афонин В. — див. Баранец Н.
- Балашов В. Н. — див. Макаров А. Л. (а)
- Балашов В. Н. — див. Макаров А. Л. (б)
- Баранец Н., Ружин Ю., Ерохин Н., Афонин В., Войта Я., Шмилауэр Я., Кудела К., Матишин Я., Чобану М. Резонансные эффекты взаимодействия волн и частиц при искусственной инжекции пучков заряженных частиц в ионосферной плазме // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 5. — С. 3—26.
- Баранов Е. Ю. — див. Бомбарделли К.
- Басараб Р. М. Метод крос-калібрування даних космічного апарата «Січ-2» // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 1. — С. 44—50.
- Бойко Г. В. Резонанс волнового совпадения в условиях гиперзвукового полета // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 3. — С. 28—33.
- Бомбарделли К., Алпатов А. П., Пироженко А. В., Баранов Е. Ю., Осинский Г. Г., Закржевский А. Е. Проект «космического пастуха» с ионным пучком. Идеи и задачи // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 2. — С. 55—60.
- Боровицький В. М. — див. Міхеєнко Л. А.
- Бражнік Д. П. — див. Гнатушенко В. В.
- Броварец А. А. — див. Донец В. В.
- Бровченко В. В. — див. Донец В. В.
- Вахно Н. И., Златкин О. Ю. Публичное акционерное общество «Хартрон». Земной успех в космическом масштабе // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 6. — С. 14—18.
- Верещак А. П., Данилин А. Б., Зайченко А. Н., Малафеев Е. Е. Публичное акционерное общество «АО научно-исследовательский институт радиотехнических измерений» — ведущее предприятие Украины в области космического радиоэлектронного приборостроения // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 6. — С. 27—34.
- Войта Я. — див. Баранец Н.
- Вольвач О. Є. — див. Курбасова Г. С.
- Гнатушенко В. В., Кавац О. О., Макаров О. Л., Бражнік Д. П. Дослідження ефективності методів злиття сканерних даних аерокосмічної багатоспектральної зйомки // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 5. — С. 50—54.
- Горбулин В. П. Через тернии к звездам. К 100-летию Владимира Николаевича Челомея // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 4. — С. 50—58.
- Грицай А. В., Міліневський Г. П. Аналіз розбіжності наземних та супутникових вимірювань загального вмісту озону: станція Київ-Голосіїв // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 1. — С. 3—13.
- Гусарова И. А. — див. Кириченко О. В.
- Данилин А. Б. — див. Верещак А. П.
- Дегтярев А. В. Проблемные вопросы выведения радиоактивных отходов в космос // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 1. — С. 58—67.
- Дегтярев А. В. В космическое будущее — вместе с наукой Украины // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 6. — С. 7—13.
- Донец В. В., Броварец А. А., Бровченко В. В. Анализ особенностей полевой спектральной аппаратуры // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 3. — С. 49—63.
- Дудкін Д. Ф., Проненко В. О., Корепанов В. Є., Клімов С. І. Випромінювання ліній електропередач у навколоземному просторі // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 5. — С. 27—34.
- Дюков В. И. — див. Желтов П. Н.
- Ерохин Н. — див. Баранец Н.
- Ефименко Н. В. Повышение точности определения ориентации космического аппарата по звездам путем совместной обработки выходной информации двух астродатчиков // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 3. — С. 22—27.
- Желтов П. Н., Дюков В. И., Семенов Л. П., Харченко В. В. Разработка современных технологий и оборудования для производства ракетно-космической техники //

- Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 6. — С. 19—26.
- Зайченко А. Н. — див. Верещак А. П.
- Закржевский А. Е., Хорошилов В. С. Развертывание упругого длинномерного элемента на космическом аппарате с магнитным успокоителем // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 1. — С. 28—43.
- Закржевский А. Е. — див. Бомбарделли К.
- Засуха С. А., Лихолит Н. И., Макаров А. Л., Меленевский Ю. О., Архипов В. Т., Шатихин В. Е. Криоохладитель Сплит-Стирлинг для фотоприемных устройств // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 2. — С. 67—72.
- Златкин О. Ю. — див. Вахно Н. И.
- Ивантишин О. Л. — див. Черемных О. К.
- Ищенко М. В. Репроцессинг GPS-наблюдений на перманентных станциях региональной сети для GPS-недель 935—1399 // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 3. — С. 41—48.
- Кавац О. О. — див. Гнатушенко В. В.
- Кириченко О. В., Клименко В. Н., Гусарова И. А., Шаповал И. В., Шевляков Ю. А. Получение из металлических волокон пористых и композиционных материалов с высокой эффективностью экранирования // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 5. — С. 66—77.
- Климов С. И. — див. Черемных О. К.
- Клименко В. Н. — див. Кириченко О. В.
- Клімов С. І. — див. Дудкін Д. Ф.
- Клюева А. И. Эффекты понижения интенсивности галактических космических лучей, связанные с высокоскоростными потоками от корональных дыр // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 2. — С. 61—66.
- Колобродов В. Г., Лихоліт М. І., Поздняков Д. В., Тягур В. М. Оптичні системи зображувальних фур'є-спектрометрів дистанційного зондування Землі // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 5. — С. 35—40. (а)
- Колобродов В. Г., Лихоліт М. І., Тягур В. М. Мінімальна розділювана різниця температур тепловізора аерокосмічного базування // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 1. — С. 23—27. (б)
- Корепанов В. Є. — див. Дудкін Д. Ф.
- Корепанов В. Е. — див. Черемных О. К.
- Короткі повідомлення про виконання у 2013 р. Цільової комплексної програми НАН України з наукових космічних досліджень на 2012—2016 рр. // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 2. — С. 3—51.
- Корсунь А. О., Курбасова Г. С. Реалізація GPS-часу і ГЛОНАСС-часу: порівняння часових даних на інтервалі 2009 — 2012 років // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 3. — С. 34—40.
- Косторнов А. Г., Шаповал А. А., Мороз А. Л., Шаповал И. В., Скрынская Н. Э. Ресурс и надёжность работы тепловых труб с капиллярными структурами волокнистого строения // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 5. — С. 61—65.
- Кочубей Г. С. — див. Шувалов В. А.
- Кошовый В. В. — див. Черемных О. К.
- Кудела К. — див. Баранец Н.
- Кулабухов А. М. — див. Макаров А. Л. (а)
- Курбасова Г. С., Вольвач О. Є. Вейвлет-аналіз наземних і космічних вимірів локальної інсоляції // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 4. — С. 42—49.
- Курбасова Г. С. — див. Корсунь А. О.
- Ладіков-Росв Ю. П., Черемных О. К. Вплив високочастотної вібрації на зміну фронту кристалізації у циліндричній ампулі Бриджмена // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 1. — С. 14—22.
- Левенко А. С. — див. Присяжный В. И.
- Леонтьев А. Ю. — див. Лизунов Г. В.
- Лизунов Г. В., Леонтьев А. Ю. Высота проникновения в ионосферу внутренних атмосферных гравитационных волн // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 4. — С. 31—41.
- Лихолит Н. И. — див. Засуха С. А.
- Лихоліт М. І. — див. Колобродов В. Г. (а)
- Лихоліт М. І. — див. Колобродов В. Г. (б)
- Лобачевська О. В., Хоркавіч Я. Д. Гравітативність в онтогенезі мохів // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 5. — С. 55—60.
- Макаров А. Л., Мозговой Д. К., Кулабухов А. М., Хорошилов В. С., Балашов В. Н., Попель В. М. Математическая модель протяженных объектов спутниковой съемки // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 1. — С. 51—57. (а)
- Макаров А. Л., Мозговой Д. К., Хорошилов В. С., Балашов В. Н., Маслей Д. В., Попель В. М. Эффективная фильтрация пространственно-периодических помех на архивных снимках // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 4. — С. 14—21. (б)
- Макаров А. Л., Шатихин В. Е., Хорошилов В. С., Петренко Г. В., Цуканов О. В., Попель В. М. Повышение точности оценки динамических нагрузок привода исполнительных механизмов космического аппарата // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 3. — С. 64—68. (в)
- Макаров А. Л. — див. Засуха С. А.
- Макаров О. Л. — див. Гнатушенко В. В.
- Малафеев Е. Е. — див. Верещак А. П.
- Марченко В. Т. — див. Алпатов А. П.
- Маслей Д. В. — див. Макаров А. Л. (б)
- Матишин Я. — див. Баранец Н.
- Мезенцев В. П. — див. Черемных О. К.
- Меленевский Ю. О. — див. Засуха С. А.
- Мельник М. Е. — див. Черемных О. К.

- Міліневський Г. П. — див. Грицай А. В.
 Міхеєнко Л. А., Боровицький В. М. Система радіометричного калібрування прецизійних оптико-електронних зондувальних систем космічного базування «Мульти-сфера» // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 4. — С. 22—30.
 Мозговой Д. К. — див. Макаров А. Л. (а)
 Мозговой Д. К. — див. Макаров А. Л. (б)
 Мороз А. Л. — див. Косторнов А. Г.
 Ногач Р. Т. — див. Черемных О. К.
 Осиновий Г. Г. — див. Бомбарделли К.
 Паук О. Л. — див. Присяжний В. И.
 Петренко Г. В. — див. Макаров А. Л. (в)
 Пилипенко О. В. Науково-технічний та науково-методичний супровід розробки та експлуатації ракетно-космічної техніки // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 6. — С. 35—48.
 Пироженко А. В. — див. Бомбарделли К.
 Поздняков Д. В. — див. Колобродов В. Г. (а)
 Попель В. М. — див. Макаров А. Л. (а)
 Попель В. М. — див. Макаров А. Л. (б)
 Попель В. М. — див. Макаров А. Л. (в)
 Присяжний В. И., Левенко А. С., Паук О. Л. Аспекты создания возвращаемого орбитального аппарата в форме спутника дистанционного зондирования Земли и ракеты-носителя // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 4. — С. 3—13.
 Проненко В. О. — див. Дудкін Д. Ф.
 Рапопорт Ю. Г. — див. Черемных О. К.
 Ружин Ю. — див. Баранец Н.
 Сазіна Н. П. — див. Алпатов А. П.
 Селиванов Ю. А. — див. Черемных О. К.
 Семенов Л. П. — див. Желтов П. Н.
 Семенов Л. П. — див. Черемных О. К.
 Скрынская Н. Э. — див. Косторнов А. Г.
 Токмак Н. А. — див. Шувалов В. А.
 Томченко О. В. Використання космічної інформації ДЗЗ та наземних спостережень для комплексної оцінки екосистемних послуг Київського водосховища на основі методу аналізу ієрархій // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 5. — С. 41—49.
 Тягур В. М. — див. Колобродов В. Г. (а)
 Тягур В. М. — див. Колобродов В. Г. (б)
 Федонюк Р. В. — див. Атаманенко Б. А.
 Харченко В. В. — див. Желтов П. Н.
 Хоркавців Я. Д. — див. Лобачевська О. В.
 Хорольський П. П. — див. Алпатов А. П.
 Хорошилов В. С. — див. Закржевський А. Е.
 Хорошилов В. С. — див. Макаров А. Л. (а)
 Хорошилов В. С. — див. Макаров А. Л. (б)
 Хорошилов В. С. — див. Макаров А. Л. (в)
 Цокур А. Г. — див. Шувалов В. А.
 Цуканов О. В. — див. Макаров А. Л. (в)
 Черемних О. К. — див. Ладіков-Росєв Ю. П.
 Черемных О. К., Климов С. И., Корепанов В. Е., Кошовый В. В., Мельник М. Е., Ивантишин О. Л., Мезенцев В. П., Ногач Р. Т., Рапопорт Ю. Г., Селиванов Ю. А., Семенов Л. П. Наземно-космический эксперимент по искусственной акустической модификации ионосферы. Первые результаты // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 6. — С. 60—74.
 Чобану М. — див. Баранец Н.
 Шаповал А. А. — див. Косторнов А. Г.
 Шаповал И. В. — див. Косторнов А. Г.
 Шаповал И. В. — див. Кириченко О. В.
 Шатихин В. Е. — див. Засуха С. А.
 Шатихин В. Е. — див. Макаров А. Л. (в)
 Шевляков Ю. А. — див. Кириченко О. В.
 Шибецкий В. Ю. Похибки двостепенного гироскопа у напівнатурних умовах гіперзвукового польоту // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 2. — С. 52—54.
 Шмилауэр Я. — див. Баранец Н.
 Шувалов В. А., Токмак Н. А., Цокур А. Г., Кочубей Г. С. Динамическое взаимодействие космического аппарата с разреженной плазмой при движении под «магнитным парусом» // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 3. — С. 14—21.

ХРОНІКА

- Члену-кореспонденту НАН України Володимирі Йосиповичу Драновському 80 років // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 1. — С. 68—70.
 К 100-летию со дня рождения члена-корреспондента НАН Украины Николая Лукича Голего // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 2. — С. 73—74.
 Члену-кореспонденту НАН України Морозову Анатолію Олексійовичу 75 років // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 3. — С. 71—72.
 Пам'яті В. С. Кислюка // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 3. — С. 78—82.
 Юрій Іванович Мошненко // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 4. — С. 78—82.

Укладачі

О. В. Клименко, В. М. Клименко

У журналі друкуються оглядові та оригінальні статті з таких розділів космічної науки, техніки та технологій: історичні, соціальні та організаційні аспекти проблеми дослідження космосу; космічні носії та апарати; системи керування космічними носіями та апаратами; космічний зв'язок та інформаційні системи; дослідження Землі з космосу; космічна фізика (навколоземний космічний простір); космічна астрономія та астрофізика; хімічні, фізичні та біологічні процеси в космосі; космічні конструкції, споруди та матеріали, а також різні повідомлення, звіти та рекламні матеріали.

ВИМОГИ ДО РУКОПИСІВ

1. Стаття подається автором у двох примірниках та текстовий файл у будь-якому редакторі на дискеті або електронною поштою. До рукопису необхідно додати направлення, підписане керівником установи, де виконана робота, а також висновок експертної комісії про можливість відкритого публікування. Слід також на окремому аркуші вказати адресу та телефони автора, з яким редакція може здійснювати переписку. Для оформлення рубрики «Наші автори» редакція просить на окремому аркуші вказати повні імена всіх авторів та короткі відомості про них: місце роботи, посада, галузь науки, відзнаки та ін., а також фотографію, підписану на звороті.

2. Мова: українська (російська).

3. Основні елементи статті розміщуються в такій послідовності: номер УДК, назва статті, ініціали та прізвище автора, повна назва установи, де працює автор, резюме, текст, додатки (якщо є), список літератури. На окремому аркуші подається переклад резюме, назви та прізвищ авторів англійською мовою. Рисунки, таблиці та підписи до рисунків подаються на окремих аркушах. Кожен рисунок повинен мати підпис, кожна таблиця — заголовок. Формули, рисунки, таблиці, розділи мають просту арабську нумерацію крізь усю статтю. Не слід нумерувати ті розділи та формули, на які немає посилань у тексті.

4. Текст статті друкується чітким контрастним крупним шрифтом через два інтервали.

5. Формули набираються чи вписуються крупним шрифтом з чітким виділенням елементів (індекси, символи, великі та малі літери тощо). Слід дотримуватися стилю журналу, згідно з яким змінні величини набираються курсивом, вектори та матриці — прямим напівжирним шрифтом, числа та основні функції (наприклад $\sin$, $\exp$, $\lg$, $\max$) — прямим шрифтом. У складних для прочитання випадках деякі формули доцільно розмістити: прямі літери підкреслюються знаком $\lfloor$, великі літери — двома рисками знизу, малі — двома рисками зверху, курсивні — хвилястою лінією, напівжирні — прямою, індекси окреслюються дугою; грецькі літери підкреслюються червоним олівцем, готичні — синім.

6. Рисунки повинні бути достатньо якісними для прямого копіювання у масштабі 1:1 (чи з помірним зменшенням).

7. Список літератури подається в алфавітно-хронологічному порядку (спочатку кирилиця, потім — латинь) і нумерується арабськими числами. При посиланні в тексті вказується номер в квадратних дужках (наприклад, [27]). Неприпустимі посилання на неопубліковані та незавершені роботи. Якщо стаття написана більше ніж чотирма авторами, вказати лише перших три, після чого вказати «та ін.» (et al.). Бібліографічний опис повинен відповідати титульній сторінці видання. Назви статей, а також монографій, збірників, праць нарад, тезисів доповідей, авторефератів дисертацій та препринтів вказуються повністю. Для статей обов'язково вказуються назва статті, назва видання, рік, том, номер, початкова та кінцева сторінки, для монографій — назва, місце видання (місто), видавництво, рік видання, загальна кількість сторінок.

8. При виборі одиниць фізичних величин необхідно дотримуватися СІ.

9. Редакція надсилає автору для перегляду відредаговану коректуру, яку необхідно повернути не пізніше ніж через два дні.