НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНЕ КОСМІЧНЕ АГЕНТСТВО УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ КОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

О.П. ФЕДОРОВ

КОСМІЧНА ДІЯЛЬНІСТЬ:
підходи до розробки стратегії
Why space for Ukraine?

ПРОЕКТ «НАУКОВА КНИГА»

КИЇВ • НАУКОВА ДУМКА • 2019

УДК 65.01; 5.2

У монографії розглянуто космічну діяльність з точки зору різних застосувань та розв'язання земних проблем: від світоглядних до економічних (Why Space?). Монографія складається з двох частин. У першій проаналізовано вплив космічної сфери на сучасну науку, економіку та науково-технічний розвиток. Друга частина — це вступ у розроблення космічної стратегії та стратегічного планування. Розглянуто принципові етапи розробки методології як руху від вихідного стану до нової моделі діяльності. Запропоновано мову, якою необхідно обговорювати і формулювати майбутню стратегію, а також підходи до оцінки ефективності космічної діяльності.

Для широкого кола фахівців космічної сфери, а також управлінців високотехнологічних галузей.

Р е ц е н з е н т и

академік НАН України *Л.М. Литвиненко*,
член-кореспондент НАН України *Н.Д. Панкратова*

Рекомендовано до друку вченою радою
Інституту космічних досліджень НАН України та ДКА України
(протокол № 5 від 25.09.2018)

Видання здійснено за кошти Цільової комплексної програми
«Створення та розвиток науково-видавничого комплексу
НАН України»

Науково-видавничий відділ фізико-математичної
та технічної літератури

Редактор *В.В. Вероцька*

© О.П. Федоров, 2019
© НВП «Видавництво "Наукова думка"
НАН України», дизайн, 2019

ISBN 978-966-00-1714-6

ВСТУП

Ця книга про космос, про той бік космічної діяльності, що пов'язаний із ідеологією та розробленням стратегії. Інакше кажучи, про те, що дають сьогодні та можуть дати завтра космічні проекти; яка у нас мета в космосі і яким чином ми збираємось її досягти. Американці формулюють цю проблему коротко: «Why space?» (це назва лекції, яку прочитав С. Хокінг у НАСА). Тому другий варіант заголовка цієї книги: «Why Space for Ukraine?».

Такий погляд на космос не підміняє інших, не менш актуальних. Дійсно, рівень космічних технологій (Space Technologies) визначає нашу здатність використовувати ресурси космосу; принципово нові знання виробляються у ході космічних досліджень (Space Research); економічна віддача виникає в новій сфері — космічній економіці (Space Economy); міжнародна значимість держави віддзеркалюється, зокрема, і в космічній політиці (Space Policy). Список можна продовжити.

Космічна стратегія (Space Strategy) — із цього ряду, оскільки певною мірою включає в себе зазначені вище підходи (у деяких працях її ототожнюють із космічної політикою). Для наших умов актуальність власної стратегії (і, відповідно, методології її розроблення) визначається тим, що її не тільки не розробляли, а навіть не ставили такого завдання. Важливі практичні проблеми щодо змісту космічних програм, технологічної та промислової політики, реформування галузі, міжнародних зв'язків не можуть бути вирішені без національної космічної стратегії. Йдеться

про осмислені дії у високотехнологічній сфері, тому дана тема виходить за рамки космічної галузі. Відсутність стратегічних орієнтирів, у тому числі й у космічній сфері, робить нас об'єктом стратегії зовнішньої.

Для України вироблення космічної стратегії має і специфічні труднощі, оскільки використання успадкованого потенціалу потребує рішучого переосмислення на основі сучасних інтересів незалежної держави. Тому стратегічне планування в принципі не може ґрунтуватися на попередній діяльності, а система ухвалення рішень повинна враховувати нові вимоги міжнародної космічної діяльності та внутрішні обставини, що змінилися, особливо у зв'язку із агресією на сході країни.

У монографії не наведено вибудовану методику розроблення вітчизняної космічної стратегії. Необхідно пояснити, що наявність стратегії аж ніяк не визначається написанням документа із такою назвою. Потрібно говорити про процес вироблення та реалізації стратегії (стратегічного керування) як про рух від вихідного стану до нової моделі діяльності. Стратегічне керування на основі розробленої стратегії — це безперервний процес взаємодії різних типів управлінців та експертів з метою практичної реалізації результатів стратегічного аналізу. Цей метод активно застосовують у процесі організації високотехнологічного бізнесу, а також керування такою сферою діяльності як космічна.

З огляду на те, що подібний підхід до стратегії космічної діяльності України не був розроблений, у цій книзі розглянуто принципові етапи напрацювання методології, запропоновано мову, якою необхідно обговорювати і формулювати майбутню стратегію. Зокрема, зроблено стислий огляд сучасного стану космічної діяльності й вітчизняних реалій з точки зору «Why Space?». Особливості її сучасного стану потребують короткого коментаря для пояснення вихідної позиції автора і способу подальшого викладу.

За останні роки роль космонавтики зазнала серйозних змін у зв'язку з її впливом на науковий і технічний рівень, отже, й на конкурентоспроможність економіки. Аналітики говорять про зміну парадигми сучасної космічної діяльності, яка передбачає перехід від стратегічних змагань заради лідерства до пріоритету сталого розвитку та орієнтації на споживача. Це означає підпо-

рядкованість пріоритетів космічної діяльності основним національним пріоритетам (в економіці, безпеці, науці, освіті, підвищенні якості життя громадян). Ефективність космічних програм оцінюється не кількістю пусків, а відповідями на питання: наскільки підвищиться рівень безпеки країни та регіону, який виграш від прогнозування катастроф або оцінювання наслідків лиха, як покращились конкретні управлінські рішення? Формування технологічної, науково-технічної та кадрової політики жорстко пов'язано з можливістю космічних технологій ефективно вирішувати пріоритетні державні та суспільні завдання. Від цього залежать рішення щодо масштабу та пропорцій розвитку нових систем, технологій і виробничих потужностей.

Тому сьогодні теза про те, що країна є «космічною», потребує інших підстав для аргументації, ніж 20 років тому. Вимагає корекції й вживаний термін *космічна діяльність*, *КД* (зауважимо, що в нашій мові він звучить як канцелярит, майже негативно, тоді як в оригіналі Space Activity має цілком життєстверджувальне значення).

Ще донедавна у різних міжнародних документах КД визначалась як діяльність щодо дослідження і використання космічного простору, яка пов'язана зі створенням і використанням космічних засобів. У зв'язку із зазначеними вище змінами тепер до КД належить широке коло галузей, які використовують космічні технології та інформацію (зв'язок, навігація, космічні спостереження, трансфер технологій, інформаційні сервіси тощо) і які безпосередньо не пов'язані з космічними засобами. Тому у тексті книги термін КД вживається у широкому сенсі.

Кожний з розділів книги присвячено розгляду КД із деякої специфічної точки зору, причому перші чотири покликані прямо відповісти на питання «Why Space?». **Розділ 1** розглядає зрушення в нашому розумінні світоустрою, які відбуваються під впливом досліджень космосу. Цій темі приділено не менше уваги, ніж науковому, технологічному або економічному аспектам КД (**розділи 2, 3, 4**). На переконання автора, цей аспект космонавтики важливий не лише для гуманітаріїв, а й для широкого загалу, оскільки йдеться про формування базових світоглядних понять. Активно досліджуючи космос, країна створює не лише високі технології, а й інтелектуальний потенціал, що має не меншу

цінність для становлення нації. У **розділі 5** наведено інформацію про основні результати наших космічних програм і висновки про їхню значущість. Основним положенням процесу розроблення стратегії КД присвячено **розділи 6** і **7**, причому в останньому розглянуто оцінювання результатів і сценаріїв космічної діяльності як частину стратегічного керування.

Текст монографії не претендує на повноту розкриття теми космічної діяльності, а є радше конспектом, який передбачає подальший, глибший аналіз. Структура монографії та перелік розділів відповідають мінімально необхідному обсягу заданої проблематики для конструювання цілісної картини стратегічного планування. Така структура ґрунтується як на аналізі різних джерел інформації, так і на практичному досвіді роботи у різних міжнародних групах планування космічних програм. Між іншим, цей досвід свідчить про нагальну потребу розроблення власної методології, заснованій на національних інтересах та наявного зарубіжного досвіду. Національну стратегію не зможуть підготувати навіть найдоброзичливіші союзники, а застосування зарубіжних розробок є вкрай обмеженим.

Інформація, міркування та висновки, викладені у монографії, можуть стати у пригоді тим, хто займається конкретними науковими чи інженерними розробками, управлінцям і фахівцям, які причетні до космічної діяльності.

Частина перша

ПРО ДЕЯКІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУЧАСНОЇ КОСМІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

- **Космос і наукова картина світу**
- **Про космічні дослідження**
- **Про використання космічних технологій**
- **Про космічну економіку**

РОЗДІЛ 1 КОСМОС І НАУКОВА КАРТИНА СВІТУ

...чи не існує таємного механізму,
внаслідок чого усе в світі не може бути
нічим іншим, ніж воно є.
Чжао-цзи

1.1. Вступ

Проблема пізнання світу в цілому, із нами та нашим знанням як частиною цього світу, — центральна проблема природознавства і філософії. Іноді саме її називають проблемою космології, якщо розуміти її як науку про все суще [1]. Філософське поняття «світ» і космологічне поняття «Всесвіт як ціле», що належить до сфери фізичної реальності, часто ототожнюють. Певно, філософські образи світу як цілого та їхні фізичні аналоги мають різні смисли. «Усе суще» — категорія філософська, вона не є характеристикою якогось фізичного об'єкта. Водночас стрімкий розвиток знань про Всесвіт призводить до нового філософського осмислення виявлених фактів, зміни смислів таких понять як простір, час, причинність, необхідність і випадковість, воля, дух, пізнання. Учення про космос — це та сфера, в якій наукова раціональність не може обійтись без метафізичних питань про витоки сущого. Розвиток космології стирає класичну межу між фізикою та філософією, обумовлює їхнє смислове переплетіння.

У методологічному плані таке переплетіння філософських і природничо-наукових підходів змінює зміст новостворюваних теорій. Раніше теоретики будували моделі, вважаючи, що лише одна з них має онтологічний зміст, а інші є сходинками на шляху до істини. У рамках нової фізики другої половини XX століття стало зрозумілим, що Всесвіт, який еволюціонує, — «незавершеність світу» — означає неможливість єдиної істини, як би вона не наближалась до

якоїсь абсолютної межі. Найяскравіше цей підхід може проілюструвати інфляційна космологія. Тут «зайвими стають спроби побудувати теорію, в якій спостережуваний стан Всесвіту і спостережувані закони взаємодії елементарних частинок були б єдино можливими...» [2].

Драматизм нової фізики полягає в усвідомленні меж застосування відомих фундаментальних теорій і застосування сталих наукових понять. Усвідомлена необхідність створення нової фізики, що складається із наявних теорій як окремих випадків. До того ж, нове знання про еволюційну самоорганізацію Всесвіту призводить до формування нових уявлень про фізичну реальність. Якщо для кожної наявної фундаментальної теорії є визначеним тип фізичної реальності, то нова фізика повинна описати процеси у послідовній зміні типів фізичних реалій. Так, реальність, у якій немає відомих нам типів взаємодій, структур і елементарних частинок, повинна трансформуватися в інші реальності аж до появи тих, які існують навколо.

Відкриття Всесвіту, що розширюється, фундаментальної ролі нерівноважних процесів і систем, що еволюціонують, покладені в основу нової картини світу. У всіх сферах досліджень виявляються різноманітність форм, еволюція, нестійкість: від світу елементарних частинок, біології до астрофізичних об'єктів. «Під впливом конкретних досягнень відбулися й загальні психологічні зрушення серед фізиків. Критерій простоти природи змінився критерієм єдності та симетрії природи. Фізика, де існували б тільки протони, нейтрони, електрони, безмасовий фотон і безмасовий нейтрино, була б максимально простою» [3]. Наше бачення природи зазнає радикальних змін щодо множинності, темпоральності (заснованої на прояві стріли часу) і складності.

Експериментальне підтвердження розширювання Всесвіту змушує нас розглядати історію навколишнього світу як єдине ціле. Поняття фізичної реальності має тепер включати аспект історизму. Розвиток неживої природи і космосу, поява розуму та суспільних форм руху матерії необхідно розглядати як складові єдиного процесу розвитку. Відмінність нового погляду є настільки великою, що «ми можемо говорити про новий діалог людини із природою» [3].

Зазначимо, що нова картина світу — це не сукупність нових астрофізичних теорій, нових відкриттів у природничих науках і планів освоєння космосу (точніше, не тільки це). Закони природи

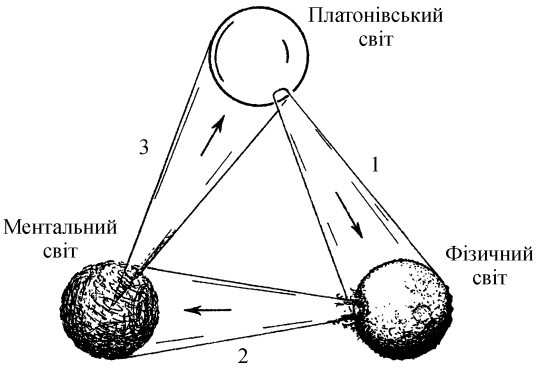

Рис. 1.1. Сукупність трьох світів за Дж. Пенроузом [5]

пояснюють, як поводить себе Всесвіт, але не відповідають на питання, чому він такий. Або чому існує саме цей набір законів, а не якийсь інший? Новий рівень діалогу людини із природою передбачає постановку питань про наше походження та долю, природу зародження життя і сенс еволюції і, нарешті, про те, що «чи не існує таємного механізму, внаслідок якого усе в світі не може бути нічим іншим, ніж воно є» [4].

Завдання побудови цілісної наукової картини світу від початку містить протиріччя: наші знання про навколишній світ визначаються біологічною та соціальною еволюцією; водночас розум, здатний до пізнання, є продуктом еволюції Всесвіту. Дж. Пенроуз [4, 5] цю суперечність зобразив у вигляді трьох взаємопов'язаних світів: Платонівського світу ідей, Фізичного світу і Ментального світу (рис. 1.1). Детальніше особливості цієї триади обговорюються далі, проте зазначимо, що цей підхід розглядає активну свідомість як «інгредієнт, що не перебуває за межами науки». Свідомість, таким чином, є частиною Всесвіту, а тому «будь-яка фізична теорія, що не відводить йому належного місця, заздалегідь не здатна дати справжній опис світу».

Критерій істини та «моделезалежний реалізм». Перш ніж коротко розглянути факти і думки, покладені в основу нової картини світу, необхідно зупинитись на важливому методичному моменті. Усе, про що йде мова, належить до наукової картини світу, хоча право на існування мають й інші (наприклад релігійні), які тут не обговорюються. Однак, посилаючись на наукову картину світу, необхідно уточнити межі її застосування, на що, власне, вона претендує. Це питання пов'язане із проблемою меж застосування наших знань, критерію їхньої істинності та ролі

суб'єкта пізнання. Це велике питання, що належить до сфери теорії пізнання (епістемології), не може бути розглянуто тут докладно. Тому варто послатися на фундаментальні праці К. Поппера [1, 6], а також на популярний виклад С. Хокінга і Л. Млодінова [7] (наведені посилання відображають, зрозуміло, уподобання автора).

Сутність цих поглядів можна звести до ідеї «моделезалежного реалізму» [1, 6], яка стверджує: не існує концепції реальності, що не залежить від теорії. Тобто будь-яка картина світу — «модель (як правило, математичної природи) і набір правил, що з'єднують елементи цієї моделі зі спостереженнями». Така точка зору істотно відрізняється від класичної («раціоналізму»), яка розглядає спостерігача та спостережуваний об'єкт як частини реального світу, відмінність між якими не має істотного значення. При цьому світ складається з об'єктів, що мають певні властивості, наші сприйняття та вимірювання повністю їм відповідають, а теорії — це спосіб їхнього опису.

Проте сучасна фізика має істотні труднощі, відстоюючи подібну «раціоналістичну» точку зору. Квантова механіка, яка цілком адекватно описує природні явища, постулює, що частинка не має певної швидкості та положення до тих пір, поки вони не виміряні спостерігачем. Тому неправильним стає твердження, що вимірювання дало певний результат, коли вимірювана величина мала певне значення під час вимірювання. Виявляється, що деяких об'єктів взагалі не існує самих по собі, вони виникають лише як частина системи (ансамблю). І більше того, з огляду на квантову природу Всесвіту, її історію не можна розглядати як єдину із чітко визначеною вихідною точкою і процесом розвитку. Замість цього необхідно розглядати історії, переміщуючись назад від теперішнього часу. Деякі історії будуть вірогіднішими за інші, а в сумі переважатиме єдина історія, яка починається з виникнення Всесвіту і закінчується її теперішнім станом. З цього починається зовсім інший погляд не тільки на космологію, а й на зв'язок між причиною та наслідком. Історії, що увійшли в цю (фейнманівську) суму, не мають незалежного існування, вони залежать від того, що вимірюється. Радше ми своїми спостереженнями створюємо історію, ніж історія Всесвіту створює нас.

Від цієї досить парадоксальної оцінки активної ролі суб'єкта пізнання повернемось до того питання, заради якого розпочато це коротке обговорення. Наскільки істинною є картина, побудо-

вана за допомогою сучасної науки? Наскільки близькі до реальності наші сучасні уявлення про світ навколо нас? І що, власне, є критерієм науковості?

Цю проблему К. Поппер [1, 6] назвав проблемою демаркації або проблемою розмежування висловлювань (систем висловлювань) емпіричних наук і усіх інших висловлювань — релігійних, метафізичних або просто псевдонаукових. Вирішенням цієї проблеми є критерій верифікування (або фальсифікування). За цим критерієм для того, щоб вважатися науковими, висловлювання матимуть здатність конфліктувати з можливими або мислимими спостереженнями. У підході К. Поппера збігаються поняття науковості, верифікування та осмислення. «Пропозиції, які можна зарахувати до галузі науки, повинні бути такими, що дозволяють верифікувати їх за допомогою пропозицій спостереження».

Очевидно, з цієї точки зору усі закони і теорії залишаються принципово тимчасовими, приблизними або гіпотетичними, навіть якщо ми відчуваємо себе нездатними сумніватися в них. До того, як теорія виявиться спростованою, ми не можемо знати, в якому напрямі її потрібно модифікувати. За суттю це є метод проб і помилок, правильніше — метод припущень і спростувань. Зміст його полягає у критичному та конструктивному ставленні до помилок, які вчений прагне виявити для того, щоб спростувати свої теорії за допомогою знайдених аргументів, включаючи звернення до найсуворіших експериментальних перевірок.

Такий підхід до проблеми демаркації дещо незвичний для дослідника природи. У всякому разі він суперечить «природним» ідеям, в основу яких покладена віра в «емпіричне узагальнення» [8].

Дотик до теми нового діалогу людини з природою вимагає невеликого, але принципово важливого екскурсу у світосприйняття мислителів античності і нового часу. Осягнення закономірностей матеріального світу і існування людини багато в чому є поверненням до грецької традиції. Однак нас цікавитиме не стільки те, що космологічні уявлення античних філософів суголосні деяким висновкам сучасної космології (подібність будови елементарних частинок і метагалактик, виникнення Всесвіту із вихору, антропний принцип). Важливим є те, що західноєвропейська філософська традиція завдяки грецькій сформувала такі світоглядні (не говорячи про моральні та естетичні) орієнтири, які можуть багато чого пояснити у становленні нашого сьогоднішнього світосприйняття.

1.2. Античний космос як межа узагальнень

Сучасні фізика та космологія вносять до своєї предметної галузі проблеми, аналогічні тим, що ставилися античною раціональністю: чому Всесвіт влаштований так, а не інакше, чому у ньому все пов'язано з усім? Питання «чому?» стосовно фізичних об'єктів — це питання, поставлені ще Аристотелем щодо першооснов та першопричин [9].

У пошуках відповіді на ці питання грецькі філософи виробили підхід, який сьогодні називають космоцентричним: у разі виявлення певної сутності природних явищ або речей її з необхідністю переносять на Всесвіт. Космос греки уявляли таким, яким його спостерігають, — цілісним, єдиним світом, що нагадує живий організм, який можна бачити, чути, відчувати, а світобудова — організована, упорядкована, доцільна, пропорційна та підпорядкована законам. До того ж така світобудова сприймалась греками як самоочевидне, надане людині безпосередньо [10].

За Гераклітом, цей космос — один і той самий для усього сущого не створив ніякий бог і ніяка людина, а завжди він був, є і буде вічно живим вогнем, що певною мірою загоряється і певною мірою гасне. Для Піфагора космос є виразом вищої гармонії, він порівнюється із величезним музичним інструментом, таким собі музичним Універсумом. За Демокритом, космос влаштований і керується подібно людському організму, який Демокрит називає мікрокосмом; якщо це можливо для живої істоти, чому це неможливо для Всесвіту в цілому? Адже якщо щось відбувається в мікрокосмі, то, відповідно, і в макрокосмі. І на етапі зрілої класики для філософського мислення він, як і раніше, залишається чуттєво-матеріальним світом, втіленим у зоряному небі. Аристотель космос уявляв просторово-кінцевим і подібним до кулі, окрім якого немає більше нічого. Рух небесних тіл незмінний і за своєю природою божественний, тобто припускає опис за допомогою математичних ідеалізацій. А для підмісячного світу математична точність не характерна. Світ розділений на звичайний та священний простори; останній є вічним, сповненим вищого сенсу, чужим до випадковості. У звичайному просторі все піддається грі випадку, має свій термін і приречене на загибель. Аристотелівська природа побудована на кінцевих причинах, мета будь-якої зміни — реалізувати в кожному організмі ідеал його раціональної сутності. У цій сутності,

яка є і його остаточною формальною і діючою причиною, — ключ до розуміння природи.

Для космоцентричного світосприйняття світ — це космос, до якого належить все природне і духовне, що знаходиться у становленні, обертанні, вічному поверненні до самого себе. А. Лосєв писав, що «філософія греків епохи класики є вчення про космос, про елементарні стихії, про їхнє виникнення та знищення і про космічні закони цього становлення» [10]. За А. Лосєвим, антична концепція космосу досить гармонійна; сам термін вказує на лад, розбудову, порядок, красу. «Цей космос вічно переходив від хаосу до загального оформлення і від цього останнього до хаосу. Такий космос можна порівнювати з чим завгодно, але тільки не з новоєвропейським Всесвітом, який є абсолютно темним, абсолютно однорідним і нерухомим, простором, що не має ніякої реальної межі і обрису, де загублена і розпорошена аморфна курява нескінченних світів-атомів» [10].

У космоцентричних концепціях світоустрою античних мислителів космос — це межа будь-яких узагальнень. За А. Лосєвим, античний космос, окрім того, втілює таке світорозуміння, у якому людина намагається зберегти не тільки свою співмірність світові, а й сам світ. Таким чином, людина розглядалась як щось включене до широкого контексту буття, що цілком підпорядковується законам «космічного», тобто природного упорядкування. У цьому сенсі людина — космічний феномен, органічний елемент космосу. Для сьогоднішньої проблематики освоєння космосу ідея порівняння людини як мікрокосму і Всесвіту як макрокосму стає однією з центральних.

1.3. Космос у світі класичної механіки

Уяву Ньютона і Лапласа про божественне та незмінне небо можна певною мірою ототожнити зі світорозумінням Аристотеля. Однак, за Аристотелем, точний математичний опис може застосовуватись лише до небесного світу. Водночас класична наука ніби звела небо на землю. Засумнівавшись у твердженні Аристотеля про те, що математика закінчується там, де починається природа, вони вбачали своє завдання не у пошуку непорушного, що ховається за змінним, а у розширенні уявлень про мінливу природи до меж Всесвіту.

Епоха класичної механіки докорінно змінила уявлення про роль науки. Нові знання про рух небесних тіл лягли в основу законів, які з небаченою досі точністю описують як рух планет на небі, так і тіл на Землі. При цьому наука не лише описує і передбачає зміни природних процесів, а є також засобом впливу на навколишній світ. Людина, озброєна новими знаннями, зможе створювати нові пристрої та механізми, що використовують на її благо природні сили та ресурси.

Місце космосу в системі поглядів нового часу на світоустрій сформулював І. Кант в [11]: «необхідно виявити систему, що пов'язує всю нескінченність ланок великого творіння, і вивести утворення самих світових тіл і походження їхнього руху із первинного стану природи, використовуючи закони механіки». Таке завдання науки пояснюється універсальністю законів, відкритих І. Ньютоном і Г. Лейбніцем. Математичне формулювання законів руху однаково застосовується до явищ будь-якого масштабу, тобто до руху атомів, планет і тіл на поверхні Землі. До того ж універсальність стосується не лише сил гравітації. Відкриття інших сил (таких як електростатична взаємодія) може змінити емпіричну складову закону руху, але не позначитися на його формі.

Згідно з Ньютоном, не існує жодного природного явища, яке б не було зумовлено силами тяжіння і відштовхування, тобто тими самими силами, що і рух небесних світил та тіл, що вільно падають. Могутній індуктивний метод Ньютона визначив головні риси нової, гравітаційної, а точніше, космофізичної картини світу, що під ім'ям ньютоніанської на два століття стала наріжним чинником у розвитку природознавства. Ця картина вважалася придатною до всіх ситуацій, в яких природний порядок (у тому числі моральний, соціальний, політичний) допускає опис за допомогою єдиної всеосяжної гармонії. Так, в хімії — це спорідненість, у медицині — життєва сила. Закони спорідненості (за якими складові різних речовин роз'єднуються для того, щоб, об'єднавшись знову в інших сполученнях, утворити однорідні речовини) такі самі, як загальний закон, якому підпорядковуються взаємодії між небесними тілами [12].

З точки зору наукової картини світу, заснованої на ньютонівському світогляді, відбулося руйнування бар'єрів, що відокремлювали Всесвіт від Землі, об'єднання й уніфікація того, що раніше вважалось хаотичним і незв'язним. Формування нової

системи поглядів цілком обґрунтовано називають тріумфом нової універсальності. «Одним із головних джерел неперевершеної привабливості сучасної науки було відчуття, що вона відкриває вічні закони, які таїлися у глибині нескінченних перетворень природи. Відкриття порядку у природі народжувало почуття інтелектуальної впевненості: «...природа, в якій ми живемо, є для нас «інтелектуалізованою», розумоосяжною: уся вона — порядок і розум. Як і той розум, який її мислить і серед якої він рухається» (*цит.* за [10]). Таким чином, освітленим сонцем розумоосяжності можна вважати весь світ, що підпорядковується незмінним і вічним законам.

Однак нова картина світу, де будь-яка подія визначається початковими умовами, виключає плин часу і становлення. В такому світі все відбувається подібно до обертання планет по незмінних орбітах, можливі тільки ті події, які є наслідком миттєвого стану системи. У такій картині світу неможливо розрізнити моменти часу минулого, теперішнього чи майбутнього. Фундаментальні процеси — детерміновані та зворотні, а випадковість і незворотність — винятки. Усе, що відбувається, має пояснюватись за допомогою непорушних загальних законів.

У реальності, що описується класичною динамікою, — все задано але і все можливо: непорушність законів динаміки урівноважується довільністю вибору початкових умов; в системі законів Ньютона природа стає законослухняною, покірною та передбачуваною замість того, щоб бути хаотичною, нерегулярною та непередбачуваною. Але який зв'язок між смертним нестабільним світом і непорушним світом динаміки?

Теза класичної науки про те, що світ влаштований просто та підпорядковується зворотним в часі законам, призвів до відчуження людини від світу. Класична наука заперечувала становлення і різноманіття природи, які, за Аристотелем, були атрибутами низького підмісячного світу. Звідси — роздвоєність і коливання між світом-автоматом і теологією з її світом, підвладним богу. Проте для автомата потрібне зовнішнє джерело.

Парадокс класичної науки — вона відкрила нам мертву пасивну природу, поведінка якої подібна до автомата, що діє за приписами програми. Кризою можна вважати культурні наслідки тріумфу класичної науки, розкол між природничими і гуманітарними науками, протиставлення повторюваного і загального унікальному та специфічному. У цьому сенсі опис, що надається

наукою, тавтологічний, оскільки і минуле, і майбутнє містяться у сьогоденні [13].

Учені епохи Просвітництва були переконані, що після великих, але кінцевих зусиль можна пізнати світ і Всесвіт повністю, вивчити всі їхні закони і охопити Розумом усю їхню розмаїтість. Для цього часу характерно уявлення про завершеність Творіння і, як наслідок, можливості його повного пізнання, відсутність непереборних перешкод для Розуму. Одним з найглобальніших проектів епохи Просвітництва стала «Енциклопедія» Д. Дідро і Ж.-Б. д'Аламбера (її рубрикатор засновано на принципах Ф. Бекона), мета якої — створення компендіуму усіх новітніх знань.

У наш час, навпаки, ми живемо з уявленням про нескінченність світу — нескінченність Всесвіту, нескінченність мікро- і макросвіту, нескінченність розвитку, нескінченність різноманітностей. Пізнання для нас — нескінченний процес, який триватиме вічно, і ми ніколи не будемо повністю розуміти світ, у якому живемо. Нам чужий оптимізм Просвітництва, а вченим XVIII століття були б чужими наші легкість в існуванні серед нескінченностей і когнітивний скептицизм. Але й уявлення про закінченість закономірностей і розмаїття світу та про їхні нескінченності — це тільки наші уявлення. Чи чекає на нас у майбутньому кінець пізнання та науки й повне розуміння світу чи ні — цього ми остаточно знати не можемо.

1.4. Парадокси класичного опису фізичної картини світу

Картина світу, основу якої становить класична механіка, призвела не тільки до конфлікту природничих і гуманітарних наук, а й визначила принципові протиріччя усередині наук природничих. Дійсно, досконала і самодостатня механіка, описуючи світ, подає його як незмінну тотожність. Відсутність у ній стріли часу з необхідністю призводить до еквівалентності минулого та майбутнього, повного збігу причин і наслідків, а тимчасове й минуще стає ілюзорним. Це повністю суперечило природнонауковим уявленням XIX століття про еволюцію живої матерії (особливо теорії Дарвіна), закономірностям термодинамічних процесів. У книзі І. Пригожина та І. Стенгерс [3] суперечності, що виникають, розглядаються з точки зору трьох парадоксів: «термодинамічного», «квантового» і «космологічного».

Перший з них полягає в тому, що з точки зору термодинаміки Всесвіт неминуче рухається до теплової смерті. Протиріччя двох теорій — класичної динаміки і термодинаміки Л. Больцман сформулював таким чином: «... ми або припускаємо, що Всесвіт перебуває у неймовірному стані, або припускаємо, що еони, протягом яких триває цей неймовірний стан, неймовірно малі величини порівняно із віком Всесвіту» (*цит.* за [13]). Усунення цього протиріччя пов'язано із зміною базових фізичних законів зі включенням до них необоротності подій і стріли часу. Це дає змогу створити нові підстави для синтезу, який би об'єднував властивості макросвіту і мікросвіту, оскільки у фундаментальний опис природи включається необоротність.

Для розуміння «квантового парадоксу» необхідно пам'ятати, що на відміну від класичного опису, де траєкторії, що спостерігаються, даються безпосередньо, квантово-механічні хвильові функції відповідають амплітуді ймовірності. При цьому під час переходу до власне ймовірностей виникає вплив суб'єкта спостереження, точніше, проведені ним вимірювання. У [14] детально розглянуто шляхи усунення тих обставин, для яких фізичний опис стає залежним від спостерігача. Зокрема, показано, як еволюція хаотичних систем трансформує хвильові функції в ансамблі, а доступ спостерігача до природи визначає квантовий хаос, а не акт спостереження.

І, нарешті, «космологічний парадокс» пов'язано з уведенням «подій» у традиційне формулювання законів природи, що безпосередньо пов'язане із Великим вибухом. З точки зору теорії динамічного хаосу, «події» є наслідком виникнення нестійкостей хаосу на всіх рівнях, починаючи з космологічного. У трактуванні Р. Пенроуза [5] причини появи в описі природи стріли часу, необоротності і другого начала термодинаміки лежать в космології, а саме у тому типі особливості, з якої почалось існування Всесвіту.

Ці парадокси пов'язані між собою і є наслідком дуалізму запропонованого опису фізичної картини світу. З одного боку, діють оборотні у часі закони мікро- і макросвіту, а з іншого — феноменологічні закони з порушеною симетрією у часі (виникнення життя належить саме до цього рівня). Мрією кращих умів протягом багатьох років було створення певної універсальної теорії, що дає повний опис фізичної реальності, «теорії усього». З точки зору нової фізики така теорія повинна охоплювати ди-

намічну нестійкість, тобто враховувати стрілу часу, необоротність і ймовірність. В іншому випадку «теорія усього» звела б Всесвіт до деякого позачасового опису. Врахування динамічної нестійкості призводить до такого опису, з якого випливають не тільки закони, а й «події», що зумовлює ймовірне виникнення як регулярних процесів, так і нестійкостей.

Наведемо характеристику такої теорії (вважаючи її можливою) в яскравій інтерпретації В. Тіррінга (*цит.* за [4]): «Прототеорія повинна потенційно містити всі можливі шляхи, які міг би обрати Всесвіт. Маючи у своєму розпорядженні відповідні рівняння, фізика опинилася б у тій ситуації, що виникла у математиці близько 1930 року, коли К. Гедель показав, що математичні конструкції можуть бути несуперечливими, проте містити істинні твердження, що не виводяться в їхніх рамках. Аналогічно «прототеорія» не суперечитиме досвіду, але вона не визначатиме усе. Протягом еволюції Всесвіту обставини створюють свої закони».

Таке уявлення Всесвіту відкриває суттєво іншу картину світу. Якщо народження Всесвіту не відповідає детерміністичному закону, а лише реалізує одну із можливостей, то, відповідно, і всі закони фізики є реалізацією деяких можливостей, причому інші аж ніяк не заборонені. Тому і реалізація нашого світу, включно із людською свідомістю, є результатом однієї із можливостей, а наше майбутнє перестає бути даним, оскільки воно не передбачено сьогодні.

Тут варто відзначити природні для раціонального розуму сумніви у запропонованому «новому діалозі із природою». Перший з них пов'язаний із фундаментальним підходом фізиків до необхідності відділення чистого об'єктивного знання від царини невизначеного і суб'єктивного. «Бог не грає в кості», — говорив з цього приводу А. Ейнштейн; додамо менш відоме: «Якби довелося відмовитися від суворої причинності, то я волів би стати шевцем або круп'є у гральному будинку, аніж фізиком» [14]. Добре відомо, яким драматичним був вибір В. Паулі на користь класичного опису під час створення квантової механіки і Л. Больцмана під час створення термодинаміки. Ця позиція відображає труднощі, які відчуває раціональний розум дослідника природи, використовуючи випадковість як механізм опису реальності й формування універсального погляду на природу світоустрою.

Друга складність пов'язана з поняттям становлення як невід'ємного елементу реальності і умови людського пізнання, а

саме із співвідношенням між законами і «подіями», без яких неможливе становлення. Пояснимо це на конкретному прикладі, що відноситься до початкового опису Н. Бором квантового світу. У ньому енергетичні рівні атомів задаються «законами», а переходи між рівнями — «подіями». Наш доступ до реальності, яку описує квантова механіка, визначається «подіями», оскільки на експерименті ми реєструємо саме «події» (такі як випускання або поглинання фотонів). Разом з тим основне рівняння квантової механіки — рівняння Шредінгера — не приписує «подіям» об'єктивного змісту. Це рівняння описує еволюцію хвильової функції подібно до того, як класична механіка описує траєкторію частинки, тобто воно детерміністичне та обернене у часі. Одна з основних проблем квантовомеханічного опису — перехід від амплітуд (описуваних рівнянням Шредінгера) до власне ймовірностей. Оскільки саме рівняння не припускає такої процедури, вводиться додаткова процедура — редукція (або колапс) хвильової функції.

В інтерпретації процесу редукції і містяться труднощі, що виходять за межі квантовомеханічного підходу. Йдеться про роль спостереження (тобто суб'єкта) у процесі редукції. Так звана копенгагенська інтерпретація зводиться до того, що квантові системи набувають тих чи інших властивостей тільки після того, як ці властивості виміряно. Водночас існування вимірювального приладу передбачається в теорії, але не виводиться з неї. Одна з інтерпретацій цього парадоксу, запропонована фон Нейманом, полягає в тому, що передавальним середовищем між квантовою системою і макросвітом є людська свідомість.

Захоплюючим ідеям щодо інтерпретації процесу редукції присвячена велика кількість спеціальної та популярної літератури [4, 5, 13]. І якщо для квантової механіки розроблені підходи щодо вилучення з теоретичної схеми суб'єктивного елемента [15], то ідеї про дуже загальний характер «квантових спостережень» залишаються в центрі дискусій про нову фізику. Так, П. Девіс відзначає, що «межа між фізикою дуже малого і дуже великого, можливо, є інтерфейсом між духом і матерією — межа, яка може виявитися чи не найбільшим надбанням» (*цит.* за [4]). Ця точка зору вповні виражена одним із формулювань так званого сильного антропного принципу: «Спостерігачі необхідні для знаходження Всесвітом буття», іншими словами, «Всесвіт повинен мати властивості, які дозволяють розвинутись розумному

життю». Традиційна фізика вбачає у такому підході звернення до метафізичних підходів, які загалом не притаманні науці.

Зазначена незадоволеність фізиків може пояснюватися недостатнім розумінням фундаментальних фізичних законів, «яке перешкоджає побудові концепції «розуму» у фізичних і логічних термінах». Про концепцію розуму трохи нижче, а з приводу недостатнього розуміння законів природи доречно навести думку авторів [3, 13], згідно з якою нинішній етап побудови наукової картини світу визначається як прокладання стежки, що уникає драматичної альтернативи між сліпими законами та довільними подіями.

Могутню картину становлення нового діалогу з природою неможливо передати в рамках наведеного короткого і спрощеного викладу. Задоволення від поглибленого та яскравого опису цього процесу в книгах, наведених у списку літератури, варте того, щоб прочитати їх повністю.

Треба зазначити, що нова фізика, яка змушує переглянути зміст законів природи, певним чином звертається до Всесвіту не тільки як до вмістилища усього матеріального світу, а й як до межі можливих узагальнень. Аристотель увів фундаментальну відмінність між божественним та вічним небесним світом і змінним та непередбачуваним підмісячним світом, до якого належить і наша Земля. Класична наука у певному сенсі звела на землю аристотелівський опис небес. Становлення нового світогляду, свідками якого ми є, можна розглядати як перетворення аристотелівського підходу, як повернення з Землі на небо.

1.5. Матеріальний світ (Всесвіт) і свідомість: пошук загального підходу до розуміння

«Перетворений» аристотелівський світогляд драматично змінює наукову картину світу, уводячи нове розуміння матерії та свідомості. Виявляється, що активність матерії породжує необоротні процеси, які, в свою чергу, організовують матерію. Ця організація втілюється в еволюційності: від Великого вибуху та формування ядер і хімічних елементів до зірок і планет, біологічних видів і людини. Із цієї точки зору розум є продуктом еволюції Всесвіту і повинен розглядатись у рамках фізичних теорій. Однак розум, що оперує символами, сам створює нову фізичну реальність; у сучасній науці накопичено безліч прикладів, коли здавалося б абстрактні та хитромудрі математичні конструкції

виявлялись основою опису фізичної реальності. Квантова механіка, загальна теорія відносності, фізика елементарних частинок — це приклади фундаментальної єдності математики, що оперує символами, та устрою світобудови. Можна говорити і про обернені співвідношення. Математики звертають увагу на разючу математичну плідність тих концепцій, які покладено в основу фізичних процесів.

Сучасне розуміння проблеми підказує, що навряд чи відомий той єдиний підхід, який би обіцяв вирішення проблеми свідомості. Радше навпаки, багато досліджень схожі на спробу зрозуміти принцип роботи комп'ютера, вивчаючи механічні або хімічні властивості вузлів процесора [5]. Зміст феномену свідомості як вмістилища усього сущого Й. Гете сформулював так: «Якби я не носив у собі увесь світ, я був би сліпим зі здоровими очима» (*цит.* за [15]).

Викладене вище багато у чому пояснює той факт, що останнім часом спостерігається активне вторгнення «неспеціалістів» у ту сферу, якою до сих пір займались нейробіологи та психологи. Обсяг даної праці унеможливлює навіть короткий розгляд інтригуючої теми пошуків «науки про свідомість». Спробуємо, однак, сфокусувати увагу на одному із підходів, що спровокований сміливою гіпотезою, висунутою Р. Пенроузом [5]. Дивний феномен свідомості пропонується пояснити за допомогою згадуваної вище об'єктивної редукції, яка повинна виходити з (нествореної поки що) теорії квантової гравітації. Саме ця теорія, що об'єднує макро- і мікросвіти, має пояснити механізм виникнення і розвитку Всесвіту. Привабливість цієї ідеї очевидна, оскільки пропонується єдиний підхід до пояснення матеріального світу (Всесвіту) і свідомості на основі загальнофізичних міркувань. Тому зупиняємось на цій темі, розуміючи, що розгляд Р. Пенроуза є гіпотезою та викликає бурхливі суперечки.

У підході Р. Пенроуза, як видається, нема протиріч щодо сучасного уявлення про мозок і свідомість, а є спроба пояснення, яка знаходиться в іншій площині, ніж підходи нейробіології, психофізіології тощо. Спробуємо навести резюме деяких відомих нам положень, що не дають змоги відразу визнати «фізичний» підхід неприпустимим.

По-перше, надійно визначеним вважається матеріальний носій свідомості: розум створюється нейронами, що взаємодіють за допомогою електричних імпульсів. Нобелівський лауреат Ф. Крик

[16] так висловив думку про те, що свідомість формується не інакше, як активністю нейронів (спочатку сформульованої як гіпотеза «Astonishing Hypothesis»): «Ваші радощі та печалі, спогади і амбіції, ваше почуття особистості та свободи волевиявлення насправді не більше за поведінку величезної кількості нервових клітин і асоційованих молекул». Таким чином, наші знання про зовнішній світ — це модель, побудована на сигналах, які переробляються у корі головного мозку якимось алгоритмом. При цьому будова кори головного мозку однорідна, і під час виконання різних функцій вона використовує один і той самий інструмент (це продемонстрував видатний нейрофізик В. Маунткастл [17]). Тому алгоритм кори головного мозку єдиний, незалежно від того, з якого органа почуттів обробляється інформація або про який тип сприйняття йдеться. Кора головного мозку сама себе поділяє на специфічні функціональні зони, керуючись досвідом людини.

По-друге, принцип роботи мозку принципово не зводиться до роботи комп'ютера [18, 19, 20]. Залишаючи осторонь велику тему створення штучного інтелекту, сформулюємо (наслідуючи Дж. Хоккінса — знаного фахівця в галузі комп'ютерних технологій і одночасно дослідника проблем інтелекту) особливості пам'яті людини, які докорінно відрізняють її від пам'яті комп'ютера. Неокортекс запам'ятовує не окремі елементи навколишнього світу, а їхні послідовності, до того ж запам'ятовування відбувається в інваріантній формі; згадуються ці послідовності асоціативно, а збереження послідовностей здійснюється ієрархічно (подробиці — у чудовій книжці [20]). Дж. Хоккінс вважає основою інтелекту і первинною функцією мозку прогнозування, точніше його здатність запам'ятовувати й прогнозувати. Ми розумні за рахунок кількості повторюваних елементів універсального алгоритму кори головного мозку, гнучкість і міць якого пояснюють складність наших моделей поведінки.

По-третє, мозок працює не з інформацією у комп'ютерному розумінні цього слова, а зі змістом або значенням (цей аспект розглядає відомий нейробіолог С. Роуз) [19]. А значення — це історично сформоване поняття, воно знаходить вираження у процесі взаємодії індивідуума із природним і соціальним середовищем. Крім того, С. Роуз вважає, що пам'ять не укладається в якийсь невеликий набір нейронів, а повинна вважатися властивістю усього мозку і навіть цілого організму. Тому рівень, на якому можливо розуміння пам'яті, — це рівень системи в цілому.

Ці та деякі інші результати досліджень роботи мозку, що визнані революційними, разом з тим не знімають питання про механізми унікальних функцій мозку. Яким чином формується, наприклад, ієрархічність запам'ятовування послідовностей подій, яка зберігає ієрархічну будову зовнішнього світу? Щоб наблизитись до відповідей на такі питання або, точніше, виробити методологію пошуків, С. Роуз [19] запропонував підхід, який полягає у використанні різних «мов» опису. Автор використовує три мови, що відповідають різним вимірам пізнання: морфологія картує простір, біохімія концентрується на складі, а фізіологія описує події в часі. Для повного розуміння процесу потрібно використовувати всі мови і прагнути застосовувати «переклад з однієї об'єктивної мови (чи то мова мозку, чи свідомості) на іншу і назад».

Тепер повернемось до «фізичного» підходу Р. Пенроуза [5], який можна трактувати як одну з таких мов, що використовує фізичні механізми для опису функцій свідомості.

Ідея Р. Пенроуза базується на двох положеннях. Перше полягає у тому, що математичне мислення, отже, і розумова діяльність у цілому не можуть бути зведені до обчислювальних процедур, тобто «чисто комп'ютерної моделі розуму». Підставою для цього твердження є інтерпретація відомої теореми Геделя про неповноту: «Як тільки ми навчилися автоматизувати деяку частину математичного мислення, у нас відразу з'являється розуміння, як вийти за його межі». Погодитись із цим твердженням означає визнати той факт, що в нашій свідомості в цілому є щось, що виходить за рамки алгоритмічних дій. Це, зокрема, означає, що майбутнє не буде обчисленим на основі теперішнього часу, навіть якщо воно ним і визначається.

Друге базове положення ґрунтується на тому, що реалізація необчислювальної активності мозку заснована на фізичних законах, проте природа цієї фізичної реальності не повністю зрозуміла. Р. Пенроуз вважає неможливим описати таку суттєво «неалгоритмічну» поведінку у рамках загальноприйнятих фізичних теорій. Для вирішення цієї проблеми пропонується розробити відсутню теорію, яка одночасно буде і ланкою між квантовою механікою та загальною теорією відносності (теорія квантової гравітації). Новий фізичний процес повинен поєднувати в собі принципи квантової теорії з принципами загальної теорії відносності, тобто бути квантово-гравітаційним феноменом.

Пенроуз спробував сформулювати гіпотезу про те, де, власне, реалізується цей відповідальний за розуміння механізм роботи мозку, який неможливо вичислити: мікро-трубочки цитоскелета, які зумовлюють макроскопічну квантову когерентність. Свідомість, з цієї точки зору, є проявом такого квантовозціпленого внутрішнього стану цитоскелета, яке зумовлює взаємодію між процесами квантового та класичного рівнів.

Міркування Пенроуза є припущеннями, а розглянутий феномен свідомості, за його визнанням, зводиться до математичного розуміння («інші види розуміння до нього зводяться» — дуже дискусійний момент). Більш того, ця гіпотеза цілком може виявитися невірною. Проте у працях [5, 19] зроблено принциповий крок до побудови нової природничо-наукової картини світу. Звернемо увагу на «негативність» основних положень: теорія свідомості відсутня, комп'ютерна модель свідомості некоректна, фізичний механізм реалізації свідомості ще належить відшукати. У сукупності ці «негативні» міркування складаються в методологію пошуку повної наукової картини світу, в якій свідомість є частиною нашого Всесвіту. А розгадка таємниці взаємозв'язку трьох світів — фізичного, ментального і «платонівського царства чистої математики» знаходиться у руслі запропонованої методології.

«Кожен мозок, що усвідомлює себе, сплетений із найтонших фізичних складових, які незрозумілим поки що чином витягують свідомість із фундаментальної структури математично обумовленого Всесвіту — з тим, щоб ми, у свою чергу, озброївшись платонівським розумінням, змогли отримати прямий доступ до першопричин функціонування Всесвіту на всіляких рівнях» [5].

У цьому розділі ми спробували показати, як дослідження космосу призвело до знаменних зрушень у нашому розумінні світоустрою і ряду категорій, що визначають наші погляди на навколишній світ. Виявилось, що космологія і космічна фізика, які у сучасному світі розуміють не так багато людей, здатні докорінно змінювати базове світосприйняття широкої аудиторії.

Видається важливим, що космос для нас — це не безмежний океан, що цікавий тільки явищами поблизу берега і може впливати на погоду на узбережжі. Виявляється, цей океан — не тільки середовище нашого існування, а й відображення всіх можливих фізичних реальностей і навіть нашої свідомості. Тому не буде перебільшенням прогнозувати можливість відповіді на питання, які ставлять дослідники космосу, а саме: звідки ми походимо, хто ми і яка наша доля.

РОЗДІЛ 2

ПРО КОСМІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Дотик до великої таємниці початку Всесвіту
є, мабуть, найхвилюючим моментом
у розвитку природничих наук
Я.Б. Зельдович

2.1. Вступ

У розділі 1 розглянута принципова роль нових знань про Всесвіт у становленні наукової картини світу, світогляду XXI століття. «Новий діалог із природою» став можливим завдяки проривам у природничих науках, більшість із яких прямо або опосередковано пов'язана з космічними дослідженнями. Тема цього розділу — сьогоднішній і майбутній внесок космонавтики в отримання нового знання та розвиток конкретних наук. Цей внесок можна характеризувати з різних позицій: нових можливостей традиційних наук (таких як астрономія, астрофізика, науки про Землю) або виникнення нових наукових напрямів (таких як космічна біологія та медицина, астробіологія, космічне матеріалознавство). Особливе місце займають космічні місії за межі земної орбіти, Space Exploration (дослідження, пов'язане з експедицією, або освоєння небесних тіл за допомогою космічної техніки); їх навряд чи можна розглядати у рамках звичної класифікації наукових дисциплін. Це один із найяскравіших прикладів міждисциплінарної діяльності, в якій нероздільними є фундаментальні та прикладні дослідження. Практично реалізований перехід від спостереження до експериментального дослідження космічних об'єктів in situ зумовив найвищу оцінку ролі космічних місій на початку космічної ери: «найбільше досягнення людського генія», «відкриття нової ери в історії людства». Водночас за 50 років практичної космонавтики змінилась парадигма космічної

діяльності (див. Вступ) і, відповідно, погляд на розвиток наук про космос.

Як тільки космічні дослідження вийшли з тіні оборонних програм після закінчення «холодної» війни, ставлення до них суттєво змінилось. На сьогодні космічні агентства висувають дуже високі вимоги до наукового рівня проектів (в ідеалі наукові завдання формулюють нобелевські лауреати); неодмінною вимогою стало використання проривних технологічних рішень, крім того, спеціальні заходи запроваджуються для здешевлення космічних проектів і комплексування завдань. Таким чином, у сфері наукових досліджень склалася своєрідна система маркетингу, що має не тільки позитивні сторони: часто процеси відбору, оптимізації місій і здешевлення технічних рішень принципово затягують їхню реалізацію (так, астрономи стурбовані суттєвою перервою у роботі великих телескопів після завершення місії космічного телескопа Хаббла); також навколо проектів формуються групи учених, що перешкоджають реалізації нових ідей. У результаті оптимізації різних підходів склалась система організації космічних місій двох типів: масштабні наукові проекти (космічні телескопи, місії до планет або астероїдів, які в європейських програмах називають Cornerstone Missions), а також малі місії вузької спрямованості (типу популярної програми Cubesat). Останні успішно використовуються невеликими командами дослідників (переважно з університетів) і мають можливість швидко реалізувати ідею дослідження. Однак підхід щодо заміни великих місій значною кількістю малих (ініціатива НАСА на початку 2000-х щодо постійної віртуальної присутності у Сонячній системі) виявився нереалістичним, оскільки фундаментальний результат вимагає комплексу різноманітних приладів, що працюють одночасно.

Стратегічні плани провідних космічних держав у дослідженні космосу та вибір пріоритетів космічних місій в останні роки зазнавали серйозних змін. Початок 2000-х ознаменувався масштабною ініціативою президента США Дж. Буша — Exploration, що окреслила горизонти майбутніх космічних польотів: МКС — Місячна база — Марс і далі. Однак «повернення на Місяць» і підготовка марсіанських місій вимагали величезних ресурсів (США планували забезпечити не більше половини видатків, а решту мали надати партнери), а також серйозних технологічних проривів (особливо у розробці нових носіїв). У результаті драматич-

ної дискусії у середині 2000-х великими космічними компаніями була запропонована (і урядом США схвалена) менш амбітна програма дослідження астероїдів, тобто пріоритетність наукових місій виявилась залежною від етапів розробки нової техніки. Така ситуація піддала сумніву загальний принцип формування дослідницьких програм, які мають базуватися на наукових пріоритетах (scientific-driven approach). Нова космічна політика США оголошує повернення до пріоритетів освоєння Місяця, а потім Марса. Значущим моментом Директиви № 1 Президента Д. Трампа (грудень 2017 року) стало визнання важливості взаємодії із приватним сектором, що відображає нові тенденції сьогоднішньої космонавтики. Таким чином, до другого десятиліття нашого століття не тільки в американській, а й в програмах інших космічних держав стратегічне завдання освоєння Місяця і планет Сонячної системи знову стала пріоритетом.

Зазначені зміни пов'язані не стільки зі зміною наукових пріоритетів, скільки із впливом політиків і великого бізнесу на програми, які забезпечують технологічне домінування. В аналітичних матеріалах початку XXI століття можна зустріти оцінку стану освоєння космосу у цей період як кризову або таку, що переживає спад. На те є дві причини. Перша пов'язана із загальним падінням інтересу публіки до космічних місій; усі нинішні важливі події не приваблюють суспільство так сильно, як перший політ людини в космос або висадка на Місяць. Тому зрозуміле бажання політичних керівників висунути масштабну програму, яка б викликала глобальний суспільний інтерес. Друга причина пов'язана з обмеженнями сучасної космонавтики: новими дешевими засобами виведення і недостатністю коштів на освоєння космосу. Нового сплеску космічних місій варто очікувати за умови системного входження приватного бізнесу у космонавтику, яке демонструє Ілон Маск і деякі інші приватні підприємці. Однак чи настане у космічній діяльності такий переломний момент, що спостерігався сто років тому в авіації у зв'язку із залученням приватної ініціативи, покаже найближче десятиліття.

У зв'язку із пріоритетністю міжпланетних місій суттєво змінилися погляди космічних агентств (у першу чергу НАСА) на ефективність наймасштабнішої міжнародної ініціативи — програми Міжнародної космічної станції і подальших досліджень на навколоземній орбіті. Створення постійної дослідницької лабораторії вважалось абсолютним пріоритетом (в США МКС отри-

мала статус національної лабораторії); проте пізніше фокус досліджень на МКС помітно змістився у бік проблематики забезпечення міжпланетних місій. Зазначимо, що європейські та японські програми орбітальних досліджень (а також пов'язаних із ними імітаційних експериментів) мають дещо більшу підтримку. Ймовірно, це пов'язано із розумінням закономірностей наукового пошуку і неминучістю етапу «рутинної» праці, накопичення знань і навичок.

Незважаючи на відмінність пріоритетів національних космічних програм, дослідницьку сферу треба визнати абсолютним пріоритетом. Це стосується практично усіх провідних космічних агентств; виняток становлять деякі країни, які розвивають майже виключно прикладні напрями (наприклад Ізраїль, Туреччина, Республіка Корея). Космічна наука виправдовує в очах публіки великі космічні витрати: національним досягненням американці вважають телескоп Хаббла і МКС, приголомшливе враження на жителів планети справили результати марсіанських місій, безпосередній контакт із кометою або посадка на далекій супутник. Такий підхід поділяє і промисловість, оскільки наукові місії ставлять найвищу планку для розроблення нової техніки і сервісів, забезпечуючи інноваційний розвиток космічної галузі та упровадження розробок в інші галузі. Думки вчених про зменшення витрат на науковий космос справедливі лише почасти, швидше йдеться про перерозподіл коштів між різними напрямами; крім того, не завжди точно можна визначити межу між власне дослідницькою роботою і розробленням техніки для конкретних місій.

Перед тим як розглянути пріоритетні напрями сучасних наукових місій, зробимо короткий термінологічний відступ, що стосується предмета космічних досліджень. Міжнародний комітет COSPAR зараховує до космічних досліджень (Space Research) сферу наукових пошуків, яка передбачає використання космічної техніки [1]. Ця сфера включає: вивчення Землі з космосу, геофізику (геодезію), атмосферні дослідження, планетологію, астрономію, матеріалознавство, науки про життя, фундаментальну фізику, а також фізику космічної плазми (іоносфера, магнітосфера, космічна погода).

Термін «космічні дослідження» відрізняється від інших близьких термінів, таких як науки про космос (Space Science) або Exploration. Так, до Space Science належать науки, що вивчають

об'єкти Всесвіту, або, за іншою термінологією, позаатмосферну астрономію та астрофізику (а також науки про галактики, фізику зірок, планетологію, екзобіологію, астронавтику, космічний захист).

У [1] наведено класифікацію галузей космічних досліджень, що закріплена рішенням Асамблеї COSPAR (Бремен, 2010 рік). У кожній із галузей існує комісія, яка обирається науковим співтовариством і завданням якої є оцінка поточного стану досліджень у даній сфері, вироблення рекомендацій щодо пріоритетів. Відповідно до цих рекомендацій організовуються симпозіуми в рамках регулярних Асамблей COSPAR, тематичні конференції та інші заходи. COSPAR готує регулярний звіт для ООН про результати і пріоритети космічних досліджень. Еволюція переліку дисциплін, наведених в [1], відображає ступінь зацікавленості наукової спільноти та актуальність тієї чи іншої проблеми. Тому зміст цього переліку можна вважати легітимним відображенням того, які дослідження нині вважаються актуальними.

Наведений нижче огляд поділено на чотири напрями, які можна вважати традиційними, хоча логіка їхнього устрою (залежно від віддаленості об'єктів від Землі, а не наукової проблематики) може бути спірною. Але відповідно до наведеної проблематики Space Research розглянемо такі напрями:

- космічна астрономія і астрофізика;
- навколоземний космос, сонячно-земні зв'язки, космічна погода;
- програми досліджень на навколоземній орбіті в галузі фундаментальної фізики, наук про життя і фізико-хімічних процесів у невагомості;
- дослідження об'єктів Сонячної системи (космічні місії до Місяця, Марса та астероїдів).

Наведений далі текст базується на офіційних звітах космічних агентств, що публікуються у рамках COSPAR, а також деяких аналітичних оглядів, опублікованих в останні роки міжнародними організаціями [2—4] та науковими спільнотами [5].

2.2. Космічна астрономія та астрофізика

Унікальна роль позаатмосферної астрономії була передбачена задовго до розвитку практичної космонавтики і пов'язувалась із фундаментальним розширенням діапазону довжини хвиль, доступних для реєстрації (рис. 2.1). Обмеження звичайної астроно-

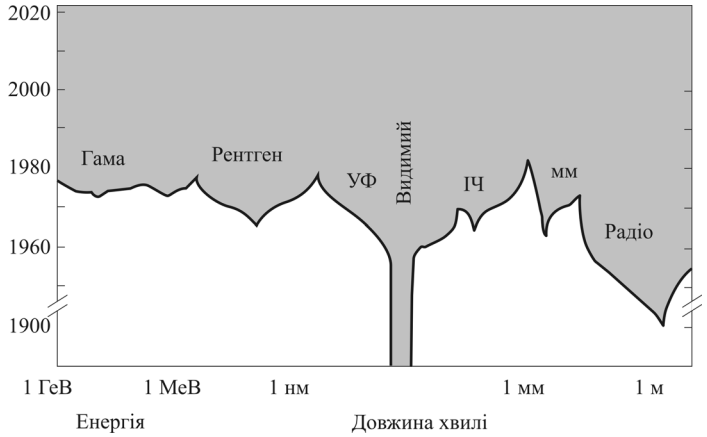

Рис. 2.1. Розширення діапазону реєстрованих довжин хвиль у ході астрономічних спостережень протягом XX століття [20]

мії зумовлено атмосферними ефектами поглинання та розсіяння, турбулентністю, тепловим випромінюванням і деякими іншими факторами. Крім того, космос дає змогу використовувати великі відстані між інструментами для спостережень (метод інтерферометрії з наддовгою базою, РНДБ). Більшість вражаючих досягнень космічної науки пов'язано саме із всехвильовим характером позаатмосферної астрономії, а також із проривом у розвитку вимірювальних технологій. Спільне застосування інструментів наземного та космічного базування зумовило якісний стрибок у розвитку цієї науки. У результаті була сформована проблематика досліджень, що кардинально змінює наші уявлення про навколишній світ. Існує велика кількість варіантів формулювань проблематики, які належать космічним агентствам (це частина космічної наукової політики!) та окремим ученим. Автору імпонують наведені нижче стислі та ємні формулювання академіка В. Гінзбурга, надруковані у відомій статті «Фізичний мінімум» на початок XXI століття» [6].

• *Експериментальна перевірка* загальної теорії відносності. Перевірка ЗТО у сильних гравітаційних полях — для нейтронних зірок і поблизу чорних дір та взагалі для чорних дір.

• *Гравітаційні хвилі, їх детектування. Прийом гравітаційних хвиль, що приходять з космосу.* Реєстрацією гравітаційних хвиль за допомогою системи *LIGO* (*Laser interferometer gravitational-wave observatory*, США) започатковано гравітаційно-хвильову астроно-

мію. Як і в інших випадках, вельми важливими будуть спільні вимірювання у різних «каналах», зокрема утворення надмасивних чорних дір спільно в нейтринному, гравітаційно-хвильовому і гамма-«каналах».

• *Космологічна проблема. Інфляція. L-член. Зв'язок між космологією та фізикою високих енергій.* Ця сукупність проблем є головною в астрофізиці. Зокрема, визначення характеру еволюції Всесвіту. Встановлено, що в еволюцію Всесвіту роблять внесок не тільки «звичайна» баріонна речовина, а й темна матерія, а також деяка вакуумна матерія, або темна енергія. У наш час вимірювання у радіодіапазоні є найважливішими серед спостережень, що мають космологічне значення.

• *Нейтронні зірки і пульсари. Наднові зірки.* Зараз відомо близько 2000 пульсарів із періодом радіоімпульсів (це також період обертання зірки) від $1{,}56 \cdot 10^{-3}$ с до 4,3 с. У мілісекундних пульсарів магнітне поле (на поверхні) порядку 10^8—10^9 Е. У більшості пульсарів з періодом радіоімпульсів від 0,1 до 1 с поле порядку 10^{12} Е. Існування в природі таких сильних магнітних полів є важливим відкриттям. Виявлено нейтронні зірки із ще сильнішими полями (магнетари), що досягають 10^{15}—10^{16} Е. Магнетари не випускають радіовипромінювання, але спостерігаються в м'яких гамма-променях.

• *Чорні діри. Космічні струни (?).* Чорні діри і особливо космічні струни — об'єкти, значно екзотичніші за нейтронні зірки. Космічні струни (не варто їх плутати із суперструнами) — це деякі (не єдині можливі) топологічні «дефекти», що можуть виникати під час фазових переходів у ранньому Всесвіті. Вони мають вигляд ниток, які можуть бути замкнутими (кільця), космічних масштабів і з характерною товщиною порядку 10^{-29}—10^{-30} см. Космічні струни ще не спостерігалися, навіть «кандидати» на цю роль невідомі. Тому космічні струни у «списку» поруч із чорними дірами, але під питанням.

• *Квазари та ядра галактик. Утворення галактик.* Питання про утворення галактик становить особливий розділ космології. У теоретичному плані її зміст полягає в аналізі динаміки неоднорідностей густини та швидкості речовини у Всесвіті. У результаті росту великомасштабних неоднорідностей речовини у Всесвіті з'являються галактики та скупчення галактик.

• *Проблема темної матерії (прихованої маси) та її детектування.* Це дуже велике і несподіване відкриття. Кількість матерії,

що світиться, визначається у результаті спостережень в основному у видимому діапазоні. Повна кількість матерії, яка може гравітувати, позначається на динаміці — русі зірок у галактиках і галактик у скупченнях. Установлено, що у Всесвіті є матерія, яка не світиться і проявляється внаслідок гравітаційної взаємодії. Темна матерія розподілена не рівномірно, але присутня скрізь: і в галактиках, і в міжгалактичному просторі. Так виникло одне із найважливіших і найгостріших питань сучасної астрономії — яка природа темної матерії, котру раніше часто називали також прихованої масою?

• *Походження космічних променів із надвисокою енергією*, відкритих у 1912 році, багато років залишалося загадковим. Але зараз можна не сумніватися в тому, що основними їх джерелами є наднові зірки. Найцікавішою видається проблема походження космічних променів із надвисокими енергіями, що перевищують 10^{16} еВ. Найбільше значення енергії в космічних променях становить $3 \cdot 10^{20}$ еВ. Прискорити частинки (наприклад протон) до такої енергії нелегко, але, мабуть, можливо, особливо в активних ядрах галактик. Однак є труднощі, які не дають змоги задовільно відповісти на питання про походження космічних променів із найвищою енергією. Проблема дійсно загадкова і вже тому цікава.

• *Гамма-сплески. Гіпернові.* Наприкінці 1960-х років системою військових супутників *Vela* зафіксовані гамма-сплески невідомого походження. Їхні типові енергії 0,1—1 МеВ, тривалість — секунди. Про це відкриття було повідомлено лише в 1973 році. З тих пір гамма-сплески енергійно вивчались, але їхня природа довгий час залишалась незрозумілою. Зараз можна констатувати, що гамма-сплески — це наслідок найпотужніших вибухових явищ, які спостерігаються у Всесвіті. Йдеться про енерговиділення приблизно до 10^{51} ерг лише в гамма-діапазоні. Це істотно більше за оптичне випромінювання під час вибухів наднових. Тому деякі джерела гамма-сплесків називали гіперновими. Кандидати на роль таких джерел: злиття двох нейтронних зірок, зіткнення або злиття масивної зірки з нейтронною тощо.

• *Нейтринна фізика і астрономія. Нейтринні осциляції.* Тривалий час вважалося, що дебетувати нейтрино практично неможливо; питання щодо маси нейтрино залишається актуальним. Сонце і зірки, як відомо, випромінюють за рахунок ядерних реакцій, що відбуваються в їхніх надрах, отже, повинні випускати нейтрино. Такі нейтрино, що мають енергію близько 10 МеВ,

можуть у даний час реєструватися лише від Сонця. Результати спостережень останніх років дають змогу стверджувати, що проблема сонячних нейтрино в основному вирішена. Нейтринна астрономія — це не тільки сонячна астрономія. Особливо потрібно підкреслити завдання детектування реліктових нейтрино з малими енергіями, які, можливо, роблять внесок у темну матерію. Нарешті, буквально «на виході» знаходиться нейтринна астрономія високих енергій з енергіями нейтрино, що перевищують 10^{12} еВ. Найімовірніші джерела: ядра галактик, злиття нейтронних зірок, космічні топологічні «дефекти».

Із перелічених проблем однією із найбільш значущих (В. Гінзбург називає її головною) є виникнення Всесвіту. Сучасна стандартна космологічна модель, яка визначає будову і розвиток Всесвіту, базується, зокрема, на аналізі червоного зсуву галактик, вимірі відстаней до наднових, дослідженнях гравітаційного лінзування, анізотропії мікрохвильового реліктового випромінювання. Космічні обсерваторії внесли у цю систему вимірювань найважливіші експериментальні дані, які допомагають із небувалою досі точністю розраховувати хід процесів формування структур у Всесвіті. Так, вимірювання анізотропії реліктового випромінювання супутником COBE (Cosmic Background Explorer, 1989) дали змогу отримати флуктуації щільності речовини у той момент, коли Всесвіт став нейтральним і прозорим. Згідно із визначенням Нобелівського комітету, «результати обсерваторії COBE є відправною точкою космології як точної науки». Рекордна чутливість і роздільна здатність апаратури наступних місій WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe, 2001) і Plank (2009) уможливили отримання космологічних параметрів із безпрецедентною точністю, підтвердивши розвиток «точної космології». Так, карта флуктуацій реліктового випромінювання та кутовий спектр амплітуд флуктуацій дали змогу описати сценарій розвитку Всесвіту, показати, що кривизна простору в частині спостереження дорівнює нулю (Всесвіт плаский). Результати цих космічних місій підтримали ключові положення сучасної космології щодо існування темної матерії та інфляційної стадії розширення раннього Всесвіту.

Дані *WMAP* разом із вимірами космічного телескопа Хаббла (1990) допомогли визначити постійну Хаббла із рекордною точністю не нижче за 5 % і уточнити вік Всесвіту (13,7 + 0,2 млрд років).

У галузі визначення складу Всесвіту, зокрема співвідношення баріонної матерії, темної енергії та темної матерії, космічні місії

повинні зробити свій внесок принаймні у двох напрямах. Оскільки для вимірів доступна тільки баріонна матерія, то її використовують як тестовий об'єкт для відстеження структур темної матерії у ранньому Всесвіті. В основі таких досліджень — вимірювання світлового потоку від зірок, зміщеного у бік червоної частини спектра через розширення Всесвіту. Але баріонна матерія в основному зосереджена в міжгалактичному газі, для картографування якого потрібні вимірювання у рентгенівському діапазоні. Виходячи з цього, особливу цінність матимуть майбутні місії, які забезпечують спостереження в ІЧ і рентгенівському діапазонах. Саме тому наступним після телескопа Хаббла в серії великих космічних телескопів буде телескоп *JWST* (телескоп ім. Дж. Уебба), спроектований для спостережень переважно в ІЧ діапазоні.

Методи РНДБ, спектрометричні дослідження в оптичному діапазоні (телескоп Хаббла), а також методи рентгенівської спектроскопії (зокрема американського телескопа RXTE, який працював на орбіті з 1995 до 2012 року) зумовили вражаючий прорив у дослідженнях структур далекого космосу, зокрема активних ядер галактик і чорних дір. Ці об'єкти мають принципове значення через їхній прямий зв'язок із основами загальної теорії відносності та з'ясуванням природи поводження матерії у сильному гравітаційному полі. Космічні експерименти в гамма-діапазоні (обсерваторія Комптона, CGRO) допомогли виявити найбільші високоенергетичні вибухи в галактиках (гамма-барстери).

Завдяки результатам роботи космічних обсерваторій попереднє десятиліття названо «золотим століттям» космічної астрономії. Разом з тим, перспектива найближчих років стала предметом численних дискусій і аналітичних досліджень. У 2012 році група експертів за дорученням COSPAR підготувала огляд «Майбутнє космічної астрономії. Глобальна дорожня карта на найближчі десятиліття» [2]. Європейське космічне агентство дещо раніше випустило стратегічний план «Космічне бачення. Космічна наука для Європи 2015—2025 роки» [7], а плани США позначені у документах [3, 4]. В оцінках експертів висловлена стурбованість тим, що найближчі роки можуть стати «темним періодом» у космічній астрономії через відсутність великих телескопів на орбіті [7]. Дійсно, терміни активної роботи наявних засобів закінчуються, а серед запланованих місій за телескопом JWST (телескоп Дж. Уебба, очікувана дата запуску — 2020 рік) немає узгоджених місій подібного масштабу.

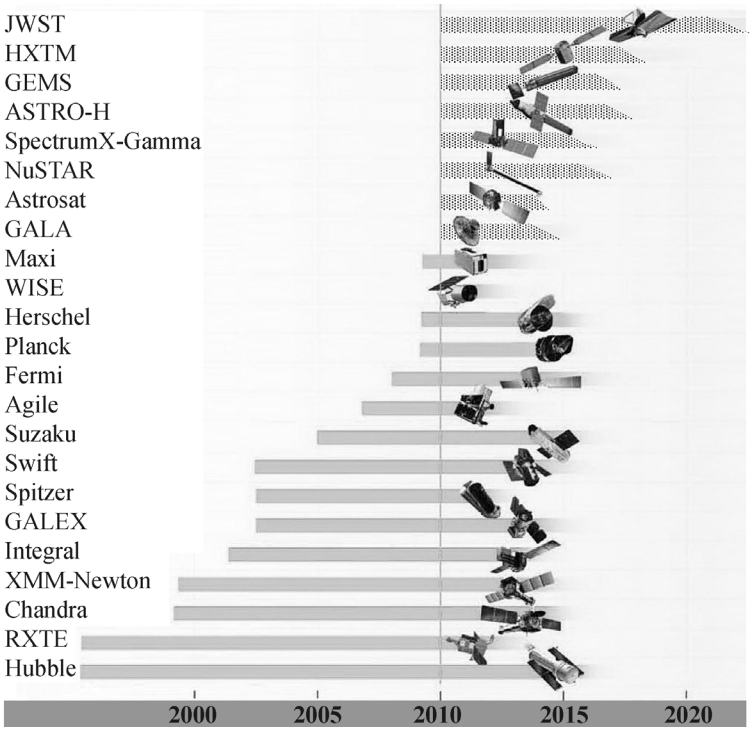

Рис. 2.2. Наявні астрофізичні місії із прогнозованим часом життя і місії, що розробляються, із запланованою датою запуску, позначеною S / C позицією [2]

Автори огляду [2] серед найважливіших для астрофізики запланованих місій разом з JWST називають місії ЄКА і НАСА для дослідження темної матерії та екзопланет Euclid і WEIRST (Wide Field Infrared Survey Telescope), місію для вивчення гравітаційних хвиль LISA (Laser Interferometer Space Antenna), SPICA (Space Infrared Observatory for Cosmology and Astrophysics) — обсерваторію далекого інфрачервоного діапазону. Додамо сюди пріоритетну місію ЄКА Athena (Advanced Telescope for High Energy Astrophysics). Перелік найважливіших космічних телескопів, запланованих міжнародною спільнотою (з огляду [2]), наведено на рис. 2.2.

Серед рекомендацій міжнародних експертів найважливішими є розробка різними агентствами погоджених програм і спільне використання наземних і космічних інструментів, що працюють у різних діапазонах. За узгодженими програмами вже працюють

великі міжнародні астрофізичні наземні центри (наприклад LOFAR, ALMA, LSST), а ідеальну схему спільної роботи космічних телескопів автори [7] бачать в організації співпраці в Європейському центрі з ядерних досліджень (ЦЕРН).

Стосовно ситуації з великими телескопами варто додати істотне зауваження щодо розроблених перспективних планів провідних космічних агентств зі створення малих орбітальних інструментів. НАСА розробило довготермінову програму так званих місій класу D, до яких входять, зокрема, інструменти для вивчення нейтронних зірок і пульсарів [3]. ESA передбачає серію місій середнього класу (M-серію, запуски раз у 3—4 роки, наприклад Plato, Planetary Transit and Oscillations of Stars) та малі апарати (S клас, CHEOPS, Characterising Exoplanet Satellite) [2].

Відзначимо високу значимість проблематики наук про космос, яку європейська космічна програма характеризує як «відповідну до європейської ідентичності й пріоритет для знаннєвого суспільства».

2.3. Навколоземний космос, сонячно-земні зв'язки, космічна погода

Для сонячно-земної фізики космічна ера дала не тільки низку відкриттів, а й створила нову глобальну спостережну базу і, головне, сприяла принциповому підвищенню рівня розуміння процесів у системі Сонце—Земля. Значення сонячно-земної проблематики, прямо пов'язаної з умовами функціонування живого на Землі, було усвідомлено задовго до використання космічних спостережень. Сформувалось також розуміння надзвичайної складності різнорідних прямих і опосередкованих зв'язків між геліота геофізичними процесами. Їх можна звести до явищ, зумовлених перенесенням енергії, яка виділяється під час нестаціонарних процесів на Сонці, і перерозподілом вже накопиченої енергії в магнітосфері, іоносфері й атмосфері Землі. При цьому виникають, зокрема, ритмічні коливання геофізичних параметрів (11-річні, 27-денні) або стрибкоподібні, обумовлені тригерним механізмом (як позатропічні циклони у разі геомагнітних збурень). Тому дана тема включає кілька різних теоретичних, спостережних і прикладних аспектів, у вивчення яких космічні засоби зробили фундаментальний внесок [8].

Протягом трьох десятиліть була сформована по суті нова концепція «космічної погоди», в основу якої покладено відкриття у сонячно-земній фізиці: прямі спостереження сонячного вітру, міжпланетного магнітного поля, викидів корональної речовини. Завдяки космічним апаратам виникли або отримали інтенсивний розвиток нові галузі геліофізики: сонячна гамма-астрономія, геліосейсмологія та ін. У науковий обіг уведено нові поняття: корональна діра, сонячна буря, геомагнітна буря, радіаційна буря. Виникло також поняття геліосфери як особливої зони в космічному просторі, утвореної сонячним вітром під час його взаємодії з міжзоряним середовищем.

Принципово нові можливості космічних засобів можна звести до трьох обставин. По-перше, позаатмосферні методи допомогли розширити діапазон частот електромагнітного випромінювання; сонячна астрономія стала всехвильовою — від ядерного гамма-випромінювання (довжина хвилі ~0,1 Å) та рентгенівських променів (≥1 Å) до радіохвиль кілометрового діапазону; можливим стало вивчення корпускулярного випромінювання. Усе це дало змогу отримувати нову інформацію про грануляційну структуру поверхні Сонця (фотосфери), процеси у зовнішніх шарах — хромосфері та короні (спалахи, утворення протуберанців), а також сонячному вітрі.

По-друге, космічні апарати зробили можливими об'ємні спостереження Сонця. Варто пояснити, що навіть зі штучних супутників Землі неможливо спостерігати Сонце «зверху»: площина земної орбіти майже збігається з площиною сонячного екватора. Тому до 1990 року (коли була запущена місія Ulysses) Сонце можна було спостерігати лише у площині екліптики (точніше, в зоні малих геліоширот ±7,25°). Починаючи з апарату Ulysses (спільний проект ЄКА і НАСА), використовують орбітальні гравітаційні маневри для виведення супутника на полярну орбіту, що допомагає «побачити» зони Сонця, недоступні для спостережень із Землі.

По-третє, космічні апарати уможливили безпосередні вимірювання електричних полів і струмів, широкого спектра плазмових коливань, електромагнітного випромінювання та потоків частинок у навколоземній плазмі. Супутникові вимірювання стали головним способом отримання інформації про властивості магнітосфери. Відкриті в ході космічної місії «Explorer-1» радіаційні пояси Ван-Аллена, а також концепція сонячного вітру

сформували сучасні уявлення про структуру магнітосфери і геокосмосу в цілому.

Нові можливості спільного застосування наземних і космічних інструментів дають змогу говорити про перехід до етапу моніторингу (використовують також термін патрулювання) навколоземного космічного середовища і можливості створення його глобальних фізичних моделей. Зараз у космосі одночасно працюють близько 20 космічних апаратів, які проводять багатоточкові вимірювання у різних ділянках геокосмосу [9].

Спільна місія НАСА-ЄКА STEREO (Solar-Terrestrial Relations Observatory), представлена двома ідентичними апаратами (перший запущено в 2006 році на сонячну орбіту, другий — у 2012 році на витягнуту еліптичну орбіту навколо Землі), забезпечує моніторинг потоків сонячної радіації та заряджених частинок, а також стану радіаційних поясів Землі, зокрема, дає змогу отримувати тривимірну структуру корональних викидів маси. З 1997 року апарат НАСА ACE (Advanced Composition Explorer) здійснює моніторинг сонячного вітру в точці Лагранжа L1 системи Сонце—Земля. Апарат НАСА-ЄКА SOHO (Solar and Heliospheric Observatory), запущений 1995 року також до точки L1, до недавнього часу був головним джерелом зображень Сонця. На заміну в 2010 році на нахилену геосинхронну орбіту був запущений КА SDO. У лютому 2015 року була запущена місія Deep Space Climate Observatory (DSCOVR), головним завданням якої є попередження про корональні викиди маси. Космічні угруповання CLUSTER (4 апарати), DOUBLE STAR і THEMIS (5 апаратів), запущені, відповідно, у 2000, 2004 і 2007 роках, призначені для дослідження хвильових явищ у ближньому космосі. Існує низка спеціалізованих космічних апаратів, окремі сенсори яких орієнтовані на вивчення сонячно-земної фізики: GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite), (POES) Polar-orbiting Operational Environmental Satellite, Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) і Meteosat. Значний внесок у вивчення світової грозової активності належить апаратам Optical Transient Detector (OTD) і Lightning Imaging Sensor (LIS), які виконували реєстрацію спалахів блискавок на поверхні Землі у 1995—2001 роках, а також з 1997 року і дотепер відповідно. Космічні вимірювання, що спрямовані на моніторинг варіацій сонячної активності і пов'язаних із ними змін геомагнітного поля, істотно доповнюються різними наземними системами, серед яких мережа станцій вертикального зондування іоносфери, радари некогерентного розсіяння, світова магнітометрична служба INTERMAGNET, радарна система SuperDarn.

Нові інструментальні можливості та рівень розуміння проблем сонячно-земної фізики призвели до формування на початку XXI століття самостійного прикладного напряму — космічної

погоди. Разом з астероїдною небезпекою та проблемою космічного сміття він входить до проблематики безпеки у програмах космічних агентств — Space Situational Awareness (в ЄС — це частина космічної політики, оформленої у вигляді спеціалізованої програми в 2009 році) [10].

Під космічною погодою розуміють сукупність динамічних явищ, що відбуваються у верхніх шарах земної атмосфери, в іоносфері, магнітосфері та сонячному вітрі під дією процесів на Сонці. Специфіка таких явищ полягає в тому, що вони обумовлені принципово нерівноважними процесами в об'єктах, які знаходяться у стані динамічної рівноваги. Формування цього специфічного напряму пов'язане з усвідомленням практичного значення сонячно-земних процесів для забезпечення безпеки у сучасних умовах і новими масштабами застосування технологічних систем. Життєво важливі послуги радіозв'язку, телемовлення, глобальної навігації, моніторингу атмосфери, поверхні суші та Світового океану, прогнозування катастрофічних явищ забезпечуються численними наземно-космічними комплексами. Їхнє стале функціонування вимагає не лише розуміння фізичних процесів у геокосмосі, а й надійного прогнозування параметрів космічної погоди та організації контрзаходів.

Як і звичайна погода, космічна погода проявляється у різноманітних ефектах і може мати як незначні, так і серйозні наслідки. У більшості випадків вплив на технологічні системи не має катастрофічних наслідків; за даними NOAA [11], тільки у 5 % періоду циклу сонячної активності спостерігається жорстка або надзвичайна геомагнітна обстановка. Саме до цього періоду відносять відомі факти виходу з ладу енергетичних систем або втрати космічних апаратів. Водночас перманентний вплив факторів космічної погоди на наземні та космічні системи завдає цілком відчутного економічного збитку. Таким чином, практична проблема оцінки ризиків від впливів космічної погоди різних масштабів визначила увагу до цієї проблеми різних користувачів — від державних структур до окремих громадян. Відповідно до цих запитів наукове співтовариство (COSPAR спільно з міжнародною координаційною групою International Living with the Star, ILWS) створило групу експертів для вироблення міжнародної програми дій, яка визначила пріоритети в галузі досліджень, розробок і організації моніторингу космічної погоди на найближчу та віддалену перспективи.

Огляд [4], підготовлений групою ILWS, включає дорожню карту узгоджених заходів у трьох сферах: спостережень і моделювання, створення дослідницького середовища, а також системи взаємодії космічних агентств і користувачів. Ідея авторів [4] полягає у комплексуванні наукового та інженерного підходів, на основі якого можливим є надійний прогноз і вироблення вимог до проектування технологічних систем (електромереж, супутникових угруповань, систем навігації та позиціонування, радіозв'язку). Конкретні рекомендації стосуються використання наявних інструментів, розробки нових наземних і космічних засобів, а також організації моніторингу. У даний час ми стаємо свідками швидкого переходу від окремих досліджень процесів у навколоземному космосі до створення цілісної системи моніторингу на основі високоточних скоординованих вимірювань.

Викладене стосується стану навколоземного геокосмічного середовища та динаміки низки глобальних процесів під впливом сонячної активності (тобто спричинених впливами зверху). Новим напрямом обіцяє стати вивчення відгуків геокосмосу (головним чином іоносфери) на впливи знизу. Величезний масив спостережень свідчить про те, що в стані іоносфери локально відображаються приземні джерела енерговиділення: погодні явища (грози, циклони, атмосферні фронти, тропосферна конвекція), техногенні чинники (запуски ракет-носіїв, ядерні та промислові вибухи, електромагнітні випромінювання електромереж і навігаційних радіопередавачів), тектонічні процеси (виверження вулканів, цунамі, землетруси і процеси їх підготовки) (див. [12—19] і бібліографію цих праць). Дуже актуальним є виявлення іоносферних провісників землетрусів — феномену, що є маловивченим, проте викликає гігантський інтерес у контексті проблеми короткострокового прогнозу землетрусів. Іншим прикладом слугують випромінювання ліній електропередач, що створюють в іоносфері специфічний електромагнітний слід. Діагностика цих випромінювань з низькоорбітальних супутників відкриває перспективу дистанційного контролю електроспоживання у глобальному чи регіональному масштабі. При цьому для вирішення даної проблеми потрібна організація супутникового моніторингу для розширення статистики спостережень і побудови адекватної фізичної картини впливів на геокосмос «знизу».

2.4. Про дослідження в умовах мікрогравітації: матеріалознавство, науки про життя, фундаментальна фізика, технологічні експерименти

Особливість цього напряму полягає в тому, що предметом дослідження є не космічні об'єкти, а відомі із земної діяльності процеси, що протікають в унікальних умовах космосу (невагомість, глибокий вакуум, космічне випромінювання, перепади температури). Серед пріоритетних галузей досліджень — матеріалознавство, науки про життя, широке коло фізико-хімічних процесів, біотехнології, а також технологічні експерименти (табл. 2.1) [20—22]. Предметну галузь (точніше значну частину зі згаданої тематики) прийнято називати науками про мікрогравітацію (microgravity sciences). Далі буде використовуватись цей термін, хоча очевидна його некоректність змушує багатьох авторів робити термінологічні застереження (див., наприклад, [21]).

Дійсно, англійському «microgravity» відповідає термін «мікротяжіння», оскільки в умовах орбітального польоту гравітаційна сила досить велика, а сила тяжіння є малою (10^{-3}—10^{-5}) g_0 внаслідок стану, близького до вільного падіння). Зауважимо, що йдеться про фізичні, біологічні та інші процеси в особливих умовах, а не про окрему галузь наук. Тому фахівці у своїх сферах використовують такі терміни як «life sciences related to space» (науки про життя в космічних умовах) і «space materials sciences» (космічне матеріалознавство). В останньому випадку говоримо про процеси отримання матеріалів у космосі, а не про деградацію властивостей матеріалів під впливом факторів космосу.

Експерименти в умовах орбітального польоту з моменту запуску Міжнародної космічної станції (МКС, 2004) стали безумовним пріоритетом космічних програм — найдорожчим і наймасштабнішим міжнародним проектом. Ці колосальні зусилля багатонаціональної спільноти засновано на результатах попередніх етапів (радянські орбітальні станції «Салют» і «Мир», американський «Спейслеб», безпілотні КА серії «Біон» і «Фотон», а також деякі інші).

При цьому за минулі роки ідеологія таких досліджень зазнала, щонайменше, двох суттєвих змін. Історично першою метою дослідницьких і прикладних програм на орбітальних комплексах була проголошена індустріалізація космосу (як в радянській, так

ТАБЛИЦЯ 2.1. **Пріоритетні напрями досліджень в умовах мікрогравітації**

Науки про життя	Матеріалознавство, фізика рідин, процеси горіння	Здоров'я людини	Фундаментальна фізика
• Біологія рослин • Клітинна і молекулярна біологія (гравічутливість клітини) • Астробіологія • Біотехнології	• Твердіння • Пилова плазма • Двофазний потік, фазовий поділ • Кипіння і конденсація • Капілярні та міжфазні явища	• Імунологія • Втрата кісткової маси • Серцево-судинна система • Вплив космічного випромінювання • Заходи протидії	• Атомний годинник • Фізика низьких температур • Методи квантових вимірювань • Методи перевірки фундаментальних сталих

і в американській програмах) [22]. Однак десятиліття експериментальної роботи засвідчили, що надії отримати унікальні матеріали, розробити принципово нові технології не справдилися. Причиною відносних невдач стало недостатнє розуміння механізмів протікання багатьох фізико-хімічних і біологічних процесів, які покладені в основу розроблюваних технологій. Тому основною метою експериментів на МКС стало дослідження цих процесів, а сама орбітальна станція отримала зі США статус національної дослідницької лабораторії.

Орієнтація сучасних космічних програм на міжпланетні місії — це ще один поворот в ідеології орбітальних досліджень. НАСА значною мірою втратило інтерес до початково розробленої програми, зосередившись на тих напрямах досліджень, які забезпечать тривалі пілотовані місії. Тому у сфері мікрогравітації пріоритет було віддано медико-біологічним експериментам. Зауважимо, що програми інших учасників спочатку не зазнали змін, проте з 2017 року фінансування цих програм в ЄКА скоротилося майже удвічі. Водночас відомо про плани створення нового покоління орбітальних станцій, з яких китайські здаються найреалістичнішими.

Зараз у дослідженнях в галузі наук про мікрогравітацію, крім орбітальних засобів, використовується система експериментального обладнання: спеціалізовані літаки, зондувальні ракети, вежі скидання, імітаційне обладнання; окрім того, новий імпульс набуло комп'ютерне моделювання складних процесів у космічних умовах.

Одним із пріоритетних напрямів сучасних орбітальних космічних досліджень є фізико-хімічні процеси в рідинах, газах, сумішах, а також процеси кристалізації. Перспективи матеріалознавських експериментів визначаються в основному такими цілями:

• Отримати унікальні матеріали і технології їх створення, недосяжні в земних умовах.

• Визначити фундаментальні параметри процесів в умовах відсутності гравітаційної конвекції (наприклад коефіцієнтів дифузії).

• З'ясувати механізми фізико-хімічних процесів, які є основою земних технологій (металургія, вирощування кристалів, отримання біопрепаратів).

• Створити наукові основи отримання матеріалів в інтересах подальшої діяльності з освоєння космічного простору.

Невдачі багатьох космічних експериментів у галузі фундаментальної фізики і матеріалознавства пов'язані саме із завищеними очікуваннями результатів дослідів в унікальних умовах невагомості. Водночас недостатнє розуміння проблеми математичного і натурного моделювання призводило до негативного кінцевого результату. Найвідоміший приклад — дослідження процесів переносу в рідинах в очікуванні відсутності конвективного перемішування. Виявилося, що термокапілярна і концентраційно-капілярна конвекції на поверхнях розділу фаз (ефект Марангоні) можуть призводити до складної конфігурації потоків у рідині та результуючого ефекту, сильнішого за гравітаційну конвекцію [22—25].

Якщо коротко підбити підсумки очікування дослідників, пов'язані з умовами невагомості, то отримаємо напрями робіт, наведені у табл. 2.2.

Зазначимо, що деякі з них не виправдали надій: отримання унікальних структурних станів у разі твердіння високопереохолодженого розплаву виявилось продуктивнішим на Землі. (Заува-

ТАБЛИЦЯ 2.2. **Перспективи отримання матеріалів у космічних умовах**

Унікальні умови	Перспектива технологічного прориву
Безконтактні умови розплавлення	Нові фазові і структурні стани матеріалів
Відсутність конвекції в рідинах, газах, сумішах	Отримання кристалів з унікальними властивостями (чистота, розподіл компонентів)
Відсутність змішування компонентів різної щільності	Нові композиційні матеріали
Превалювання поверхневих сил над об'ємними	Унікальне формоутворення і технологічне застосування (капілярні насоси...)

жимо, що у різних лабораторіях тривають дослідження із використанням левітаторів з надією отримати унікальні результати).

Серед напрямів фізичних і матеріалознавчих робіт, які здійснюватимуться у найближче десятиліття, значна роль належить пошукам нових шляхів удосконалення процесів кристалізації в космосі, структуроутворення кристалічних матеріалів, особливостей тепломасопереносу в об'ємі рідини, ролі поверхневих процесів, а також пошуку ефективних способів реалізації зовнішніх впливів (вібрація, електромагнітне перемішування) на процес отримання матеріалу. Ці напрями прийнято вважати одними з найперспективніших, принаймні, виходячи із запланованого польотного часу на МКС. Наведемо кілька прикладів.

Дослідницька програма MICAST (формування мікроструктури при литті промислових сплавів в умовах конвекції і перемішування магнітним полем) призначена для з'ясування ролі гравітаційної конвекції та електромагнітного перемішування на структуру і властивості промислових алюмінієвих сплавів. Виконувалась спочатку на зондувальних ракетах, а потім на обладнанні MSL на МКС.

Метою проекту MONOPHAS було створення основ отримання монотектичних сплавів (тобто із зоною незмішування), де компоненти сильно відрізняються за густиною. Цей проект використовував AlZnBi сплави для подальшого застосування у виробництві підшипників.

Натурне моделювання процесів спрямованої кристалізації на прозорих модельних речовинах реалізується на американсько-французькій апаратурі DECLIC, яка дає змогу проводити пряме спостереження динаміки процесу твердіння.

Десятки інших експериментів присвячено особливостям руху рідин, фазового поділу, проблемам впливу на потоки рідини, термокапілярній конвекції, моделюванню геофізичних процесів. Зведення результатів досліджень викладено в оглядах [20, 22, 24—26], а також у звітах космічних агентств.

Залежно від результатів цих досліджень стануть зрозумілими перспективи пошуків напрямів подальших матеріалознавчих робіт у космосі. Серед них, зокрема, обробка та отримання практично важливих конструкційних матеріалів для космічного будівництва житлових модулів, функціональних матеріалів для підтримки життєзабезпечення тощо. Інакше кажучи, найближчі 10 років (термін активного існування МКС, а також час здійснення без-

пілотних місій) повинні відповісти на питання, чи дійсно міркування про перспективність методів кристалізації стануть експериментально підтвердженими основами нових космічних технологій.

Пріоритетні напрями розвитку наук про життя в космосі та форми співпраці зафіксовано на рівні міжнародної робочої групи (ISLSWG) (останнє оновлення Стратегічного плану у 2010 ріці) [27]. У центрі уваги цього плану: загальнобіологічна проблема — пізнання ролі гравітації у функціонуванні біосфери, її експериментальна основа — з'ясування механізмів впливу мікрогравітації та інших факторів космічного польоту на клітинному і молекулярному рівнях організації живих систем, а також на генетичну стабільність, зростання, розвиток, репродукцію, тривалість життя і старіння, поведінку і орієнтацію рослинних і тваринних організмів у першому і наступних поколіннях. Збільшуються дослідження процесів, пов'язаних із походженням, еволюцією і поширенням життя у Всесвіті. До пріоритетних напрямів належать також пошук способів виявлення і прогнозу біологічних змін на Землі в регіональних і глобальному масштабах і оцінки наслідків цих змін для функціонування біосфери.

У зв'язку зі значним розширенням досліджень Марса, майбутніми польотами людини на Місяць і Марс та її тривалим перебуванням за межами Землі в умовах різного гравітаційного навантаження будуть продовжені дослідження функціонування фізіологічних систем людини — серцево-судинної, м'язової, скелетної, нервової та ендокринної — та їх регуляції в умовах космічного польоту та наземних експериментах, що моделюють умови мікро- і гіпергравітації. Метою цієї програми є пізнання механізмів, що становлять основу тривалої адаптації людини до цих умов, виявлення діапазону ризику для життя і роботи в космосі та розробка способів його зниження [29].

Серед численних програм у галузі здоров'я людини виокремимо проблематику втрати кісткової маси у зв'язку із перебуванням в умовах мікрогравітації, а також із дефіцитом опорно-рухових навантажень (гіпокінезія). Вона має велике значення для земної медицини, а остеопороз вважається однією із «хвороб цивілізації» (за даними ВООЗ кількість хворих у світі до 2025 року оцінюється у 40 млн осіб, а витрати на лікування та комплекс соціальних наслідків становитимуть 120 млрд євро [29]). Це один із яскравих прикладів «земного» застосування космічних дослід-

жень і водночас можливість моделювання процесів старіння в умовах космічного польоту.

Наведемо вибірку значущих досліджень європейських і американських дослідників за програмами наук про життя.

ЄКА організовує довгострокову програму в галузі наук про життя та фундаментальної фізики ELIPS (European Program for Life and Physical Sciences), яка охоплює усі перераховані вище експериментальні засоби, але в основному орієнтована на МКС [29]. Так, у галузі **біології рослин в умовах зміненої гравітації** з 2006 до 2016 року проведено кілька циклів експериментів (MULTIGEN, Genara-A, Seeding Growth-1), що продемонстрували вплив різного рівня сили тяжіння і стимулюючого випромінювання на розвиток насіння, інтенсивність росту коренів і пагонів. У галузі **клітинної та молекулярної біології** проводилися тривалі експерименти із вивчення ендотеліальних клітин (відповідальних за кровопостачання організму); в експериментах HMEC і UVEC використовувались різні типи ендотеліальних клітин для вироблення рекомендацій щодо лікування судинних захворювань і заходів протидії в космосі та на землі. У **галузі астробіології** організовані серії тривалих (до 22 місяців) експериментів з експонування різних об'єктів (спор, бактерій, органічних сполук, мікроорганізмів) на спеціалізованій платформі Expose-R. Деякі із результатів (зокрема за програмою BIOMEX) щодо виживання об'єктів виявилися несподіваними, наприклад, після порівняння даних наземного моделювання і космічних експериментів. Ці результати використані під час відбору об'єктів для місії EXOMars.

У США МКС має статус Національної лабораторії США, у рамках якої пріоритетними виділені такі програми [30]:

- Дослідження кристалізації білків декількома фармацевтичними компаніями в інтересах поліпшення властивостей лікарських препаратів.
- Дослідження гризунів фармацевтичними компаніями й академічними інститутами для кращого розуміння хвороб кісток і м'язів та тестування потенціальних ліків.
- Експерименти з клітинними культурами, організовані Національним інститутом охорони здоров'я для вивчення остеопорозу та імунодефіциту.
- Експерименти зі стовбуровими клітинами, виконувані провідними академічними та некомерційними установами для покращення лікування серцево-судинних захворювань.

• Біотехнологічні експерименти, що використовують унікальні ефекти космічного польоту для дослідження динаміки рідини, в інтересах розвитку прецизійної медицини за рахунок поліпшення діагностики і доставляння ліків.

• Дослідження модельного організму для вивчення можливості повторного використання наявних ліків для інших цілей.

• Дослідження основних принципів біології рослин.

Дослідження в галузі **фундаментальної фізики** охоплюють кілька різних напрямів, які визначаються принциповою роллю придушення проявів гравітаційної взаємодії [20, 29]. Ці унікальні умови допомагають запропонувати нові перевірки засадничих принципів загальної та спеціальної теорії відносності і квантової теорії, фізики плазми, вивчати критичні явища в гетерогенних системах, явища переносу в рідинах, а також розробити принципово нову метрологічну техніку.

Багаторічні зусилля в галузі **фізики пилової плазми** доклала російсько-німецька команда дослідників у рамках проектів «Плазмовий кристал» (PK-3, PK-4). Результати експериментів і моделювання надають унікальну інформацію про динаміку атомних процесів у рідинах і газах та деякі застосування в галузі напівпровідникової техніки. Структура, що отримала назву кулонівського або плазмового кристала, подібна до просторових структур у рідині або твердому тілі. Унікальні властивості плазмових кристалів (простота отримання, спостереження та контролю за параметрами, а також малі часи релаксації до рівноваги та відгуку на зовнішні збурення) роблять їх перспективним об'єктом дослідження як властивостей сильно неідеальної плазми, так і фундаментальних властивостей кристалів. Результати планується використовувати для моделювання реальних атомарних або молекулярних кристалів і вивчення фізичних процесів за їхньої участі. В орбітальних умовах з'являється можливість **охолодження речовини до гранично малих значень** унаслідок зменшення часу осадження окремих атомів в умовах, близьких до невагомості. На орбіті ефект від охолодження частинок триватиме близько 10 с, а на Землі він триває частку секунди. На Міжнародну космічну станцію доставлено Cold Atom Lab — Лабораторію холодних атомів, яка дасть змогу провести унікальний експеримент із заморожування частинок речовини до температури, близької до абсолютного нуля. Після охолодження під спільним впливом лазерів і електромагнітів атоми сповільняються до практично нерухомого

стану. Це дасть можливість спостерігати за речовиною в особливих умовах для вивчення квантових ефектів.

Метрологічний розділ фізичних експериментів у космосі представляє **атомний годинник — найточніший вимірювач часу**, заснований на переходах між енергетичними рівнями атомів. Стандартний атомний годинник, що працює з гарячими атомами, дає похибку вимірювання частоти переходу атома приблизно 10^{-14}. Однак похибка годинників із холодними атомами (Cold Atomic Clock, CAC) може становити до 10^{-18}. Атомний годинник космічного застосування першого покоління досяг точності вимірів $>10^{-15}$ (PARCS —Primary Atomic Reference Clock in Space, RACE — Rubidium Atomic Clock Experiment). Наступний проект нового космічного атомного годинника DSAC (Deep Space Atomic Clock) на МКС зможе поліпшити цей показник до 10^{-17}. Такий годинник базується на техніці лазерного охолодження: атоми, захоплені в магнітно-оптичну пастку, сповільнюються та охолоджуються лазерами до приблизно 1 мК. Застосування такого годинника планується у комплексі експериментів з перевірки базових фізичних законів.

Умови мікрогравітації дають змогу істотно зменшити рівень гравітаційної конвекції у рідинах та сумішах і отримати фундаментальні дані в галузі динаміки рідин. Зокрема, великий комплекс експериментів у сфері дифузійних процесів і вібраційних впливів реалізувало Європейське космічне агентство (IVIDIL, DSC, DSMX-1,2); отримано дані про коефіцієнти дифузії, термодифузії (коефіцієнти Соре), а також про роль низькочастотної вібрації в процесах перемішування. За відсутності гравітаційної конвекції вдалось вивчити особливості вібраційної конвекції як способу керування рухом рідин у космічних умовах.

2.5. Вивчення та освоєння космічного простору: автоматичні та пілотовані космічні місії

Низка природничих наук, як і наукова картина світу в цілому, зазнали докорінних змін завдяки космічним дослідженням. Довга назва цього підрозділу (англійською Space Exploration) належить до особливої сфери, яка не зводиться до якогось окремого наукового або технологічного напряму; водночас вона визначає обличчя сучасної космонавтики. Предметна галузь позначається трьома питаннями, які містяться у всіх відомих програмах

і аналітичних документах, присвячених Space Exploration: «Звідки ми?», «Що з нами станеться в майбутньому?», «Чи поодинокі ми у Всесвіті?». На ці питання дають відповідь і ті науки, про які коротко зазначалося вище, однак Space Exploration — це особливий рід діяльності, в якому дослідження невіддільне від використання, а методом досягнення є космічна місія (пілотована або автоматична) для реалізації вимірювань in situ (на місці). Яким чином співвідносяться світоглядні, наукові та прикладні аспекти, можна бачити з табл. 2.3 із праці групи аналітиків Міжнародної академії астронавтики, МАА [31].

Добре відомо, що космічні місії до віддалених космічних об'єктів — це найзатратніші, ризиковані та складні проекти. Практичний зиск від них — далеке майбутнє. Водночас історія сучасних космічних досліджень свідчить, що саме експедиції до віддалених небесних тіл (у першу чергу Марса і Місяця) визначені пріоритетними в довгострокових планах космічних держав, а з недавнього часу і приватного бізнесу. Характерним прикладом є зміна політики США за останні 15 років. Ініціатива президента Дж. Буша в 2004 році (Exploration) передбачала просування від навколоземної орбіти до Місяця як бази для подальших польотів і далі до Марса. Б. Обама 2010 року проголосив фундаментальний поворот («ми не прагнемо перевершити суперника, борючись за досягнення однієї і тієї мети, наприклад, висадитися на Місяці») і схвалив менш амбітну програму, яка передбачала шлях до далекого космосу через освоєння астероїдів. Акт, підписаний Д. Трампом (NASA Authorization Act of 2017), визначає пілотований політ на Марс як ключову мету для НАСА і передбачає першим етапом створення місячної орбітальної платформи Deep Space Gateway (DSG) (Навколомісячна Орбітальна Платформа) [3].

Може здатися, що політичний імператив визначає той чи інший поворот у космічній політиці США та інших космічних держав; дійсно, прагнення до геополітичного і технологічного домінування завжди впливало на ухвалення рішень. Однак у контексті нашого розгляду вкажемо на істотну роль культурного та наукового імперативів, що визначають коридор можливостей для політиків. Освоєння далекого космосу з початку нашого століття стало істотною міжнародної проблемою, коли групи експертів із різних країн почали безперервний процес вироблення узгоджених науково і економічно обґрунтованих рішень відносно

ТАБЛИЦЯ 2.3. **Наукові основи архітектури дослідження**

Фундаментальна проблема	Наукова мета	Завдання	Положення спостереження
Звідки ми походимо?	Визначити, як утворився та еволюціонував Всесвіт із галактиками, зірками, планетами	Дослідити всі види матерії від початкового моменту З'ясовувати процес формування планетної системи в Галактиці Вивчати різноманітність і склад малих тіл у Сонячній системі	• за допомогою телескопів у точці лібрації Сонце—Земля L2 (SEL2) • за допомогою телескопів у SEL2 • на навколоземних об'єктах
	Дослідити походження й еволюцію планети Земля та її біосфери	Знайти докази для розуміння походження системи Земля—Місяць Знаходити зразки із найдавніших епізодів в історії Землі Отримати факти, що стосуються історії Сонця та його впливу на Землю	• у реголіті та скелях Місяця • у земних метеоритах, знайдених на Місяці • у реголіті та скелях Місяця
Що буде з нами у майбутньому?	Визначити природу космічного середовища та потенційних космічних небезпек для Землі	Вивчити історію впливу астероїдів і комет на Землю Визначити об'ємні властивості та внутрішню структуру навколоземних об'єктів	• у місячних кратерах • на навколоземних об'єктах
	Визначити потенціал для встановлення постійної присутності людини у космосі	Оцінити корисність виробництва ресурсів на Місяці включно із місячною кригою Визначити корисність навколоземних об'єктів як потенційних ресурсів для отримання матеріалів у космосі Визначити здійсненність виробництва ресурсів in situ на Марсі	• на Місяці • на навколоземних об'єктах • на Марсі

Закінчення табл. 2.3

Фундаментальна проблема	Наукова мета	Завдання	Положення спостереження
Чи поодинокі ми у Всесвіті?	Визначити, чи було колинебудь позаземне життя у Сонячній системі	Визначити геологічну і кліматологічну історію Марса Визначити історію води та її теперішнє розподілення й форму на Марсі Пошук минулого і теперішнього життя	• на Марсі • на Марсі • на Марсі та в Європі
	Визначити, чи є подібні до Землі планети, що свідчать про життя навколо інших зірок	Пошук земноподібних планет навколо інших зірок Пошук доказів життя у спостережуваних властивостях планет поза Сонячною системою	• за допомогою телескопів у SEL2 • за допомогою телескопів у SEL2

стратегії Space Exploration. Утіленням загального підходу стала Міжнародна космічна станція, а подальша стратегія формулювалась в узгоджених Стратегічних дорожніх картах [3]. Візьмемо на себе сміливість зазначити, що у згаданих вище урядових ініціативах немає нічого такого, чого б не виписали експерти в документах міжнародних робочих груп. При цьому технічні рішення, терміни і послідовність дій варіюються з урахуванням політики провідних гравців. Щодо базових підходів варто зазначити таке.

Політика космічних агентств з початку 2000-х років узгоджується у рамках декількох експертних груп, що мають високий статус: Міжнародної групи з координації досліджень (ISECG), Міжнародної групи з дослідження Місяця (ILEWG), Міжнародної групи з дослідження Марса (IMEWG) та деяких інших.

З 2006 року на спеціальних засіданнях представників космічних агентств 14 країн (Україна входить до них) розпочато розробку глобальної стратегії досліджень і дорожніх карт Space Exploration, які періодично оновлюються. На рис. 2.3 проілюстрована загальна ідея просування від земної орбіти до Марса з першого узгодженого документа «Глобальна стратегія досліджень — основи

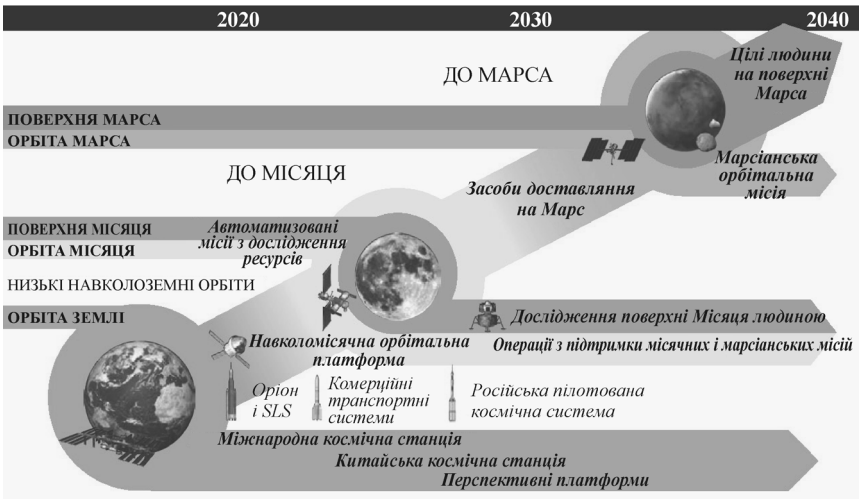

Рис. 2.3. Дорожня карта глобальних космічних досліджень [3]

координаційного процесу» [31] 2007 року і розробленої в 2018 році дорожньої карти досліджень [3]. За цей час дещо змінився план освоєння Місяця (передбачається створення орбітальної місячної платформи) і конфігурація місячної бази. Варто пояснити, що згадані документи — це не погоджена програма, обов'язкова для всіх; радше це рекомендаційні основи, що демонструють перевагу скоординованих зусиль (хоча в рекомендаціях враховуються виключно національні проекти). Міжнародне космічне співтовариство демонструє інноваційний підхід до виконання загальнолюдського завдання досягнення планет і створення поселень, закладаючи основи спільної роботи землян. Це амбітне завдання вирішується через ланцюжок практичних завдань, серед яких: розробка стандартів, методів обміну даними, визначення обсягу спільних послуг для створення спільних інфраструктур, механізми розміщення корисного навантаження, способи координації планування космічними агентствами, експертиза вимог до правових документів. Остання з дорожніх карт [3] уточнює перелік і послідовність автоматизованих і пілотованих місій, наводить список критичних технологій і підготовчих робіт, демонструючи прогрес у координаційній роботі.

Ця робота не дуже помітна для широкого загалу і зустрічає серйозні труднощі, оскільки учасники не просто мають різні про-

грами, а у деяких випадках жорстко конкурують. Тому узгоджена дорожня карта — приклад можливостей співпраці між конкурентами в космосі та модель майбутньої взаємодії між націями у глобальних проектах.

Коротко зупинимося на проблемах і розбіжностях наукового й ідеологічного порядку, що не відображені в офіційних текстах документів і стають предметом постійних дискусій. По-перше, мова йде про відносну значущість місячного і марсіанського етапів. Багато вчених вважають марсіанські місії (а також місії до астероїдів) істотно ціннішими з наукової точки зору (ця точка зору зафіксована в європейських документах [2, 7, 31]) і місячну базу розглядають як таку, що забезпечує технологічний етап для подальших польотів. Найгостріші дискусії викликають перспективи використання місячних ресурсів, зокрема гелію-3, що впливає на підходи до створення місячної бази. Ця конкретна тема ілюструє більш загальну ідеологічну проблему щодо пріоритетів міжпланетних досліджень, яка дуже яскраво проявилась у внутрішньоросійській дискусії (а саме, що важливіше — планетологія чи фізика космосу).

По-друге, тема відносної важливості пілотованих і автоматичних місій. Дуже багато фахівців виступають проти пріоритетності пілотованих місій у найближчі роки через ризики і невирішені проблеми захисту людини від іонізувального випромінювання. Ще одне фундаментальне питання пов'язане з ефективністю роботи людини в космічних лабораторіях. Досвід роботи на навколоземній орбіті показав, що значну частину часу екіпаж займається проблемами життєзабезпечення та обслуговування техніки, а не цільовими завданнями досліджень [32].

По-третє, проблеми, пов'язані із розробленням комплексу технологій для забезпечення міжпланетних місій, особливо засобів доставки, а також вартістю втілення проектів. Вражаючий ривок Ілона Маска, який продемонстрував багаторазове використання ступенів РН, обіцяє зниження витрат на запуски на 10—15 %. Однак скептики не вважають цього достатнім для зниження загальних витрат до прийнятного рівня. Так, витрати НАСА на МКС, менш масштабний проект, становили $ 150 млрд, а теперішній бюджет (19,9 млрд у 2019 році) викликає скепсис у сенсі перспектив забезпечення проектів місячної і марсіанської програм. Тому дискусія про те, чи варто витрачати мільярди доларів на міжпланетні місії у разі невирішених проблем бідності,

екологічного моніторингу, безпеки та досліджень геосистем, що забезпечують життя людини, продовжуватиметься.

Аналіз різних міжнародних і національних програмних документів переконує в тому, що світова спільнота послідовно і наполегливо втілює ідею освоєння далекого космосу попри жорсткі дискусії та невирішені проблеми. Підхід до майбутніх місій можна визначити слідом за авторами огляду [3] як покрокове втілення загальної ідеї (stepping stone approach). Архітектуру майбутньої космічної інфраструктури описують автори фундаментальних оглядів [7, 33, 34], при цьому існує безліч варіантів участі кожної нації у цьому міжнародному плані.

РОЗДІЛ 3 ПРО ВИКОРИСТАННЯ КОСМІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Коли на нас насувається нова технологія,
той, хто не став частиною парового котка,
стає частиною бруківки.
С. Бранд

3.1. Вступ

Дедалі ширше застосування космічних технологій і сервісів в інтересах величезної кількості користувачів багато в чому визначає відповідь на питання «Why Space?». У космічних програмах більшості держав розвиток технологій та їхнє використання в інтересах споживачів є пріоритетними, а земне використання не розглядається як супутній продукт, що має виправдовувати основну космічну діяльність [1]. Навіть визначення космічної діяльності кілька років тому було скориговано, і тепер йдеться не лише про створення та застосування космічних засобів, а й про суміжну діяльність, яка використовує інформацію, сервіси та технології космічного походження. Це відображає реальний стан тих сфер «земної» діяльності, які сьогодні неможна уявити без космічної складової (прогнози погоди, навігація, екологічний моніторинг, керування транспортом, енергетика, точне землеробство).

На сьогодні нові прилади, матеріали та сервіси на основі використання космічних технологій стали невід'ємною частиною повсякденного життя громадян: від автомобільних навігаційних систем і супутникового телебачення до мобільного інтернету, тефлонових сковорідок і штрих-коду на товарах у супермаркеті. Значна частина космічних програм спрямована безпосередньо на задоволення земних потреб. Створення нових систем зв'язку, навігації та моніторингу розглядається, зокрема, в європейських програмах, як інструменти підвищення якості життя, особистих свобод і безпеки громадян. Така політика стала мож-

ливою на сучасному етапі як результат розвитку практичної космонавтики і переходу від демонстраційного етапу використання космічної техніки до режиму регулярної експлуатації орбітальної та наземної інфраструктури.

Задоволенню нових потреб сприяє перехід космічних (і військових) технологій у цивільні сектори (spin-in) та у зворотному напрямі (spin off). Ці процеси визначають зростання ролі космічної економіки, яка розвивається швидкими темпами і усе більше впливає на розвиток інших галузей. Виникнення нових ринків — найпомітніший наслідок поширення космічних технологій. Так, за останні 10 років ринки геоінформатики, супутникової навігації та інтернету збільшилися більш ніж удвічі. При цьому економічний центр ваги зміщується від створення безпосередньо космічних продуктів (створення космічної орбітальної та наземної інфраструктури, забезпечення супутникового зв'язку, продажу «сирих» космічних знімків) до похідних ринків. Деякі економічні наслідки упровадження інновацій та становлення «нової економіки» розглянуті у розділі 4.

У цьому розділі основний акцент зроблено на застосування технологій, які докорінно змінюють традиційні сфери людської діяльності, розширюють можливості вирішення земних проблем. За короткий відрізок часу супутникові спостереження землі і океанів, космічні навігаційні та комунікаційні системи надали людству принципово нові можливості. Однак необхідно усвідомлювати, що наявні технологічні досягнення використовують лише невелику частину ресурсів, які надаються космічним оточенням. Прогнози визначають різні терміни, коли перспективні сфери (енергетика, корисні копалини, створення колоній і космічних виробництв) стануть об'єктами технологічного освоєння. Водночас уже зараз у документах космічної політики розвинених країн освоєння космосу розглядається як необхідна умова інноваційного розвитку економіки, а космічні технології — як інструмент вирішення глобальних і національних проблем.

3.2. Супутникові спостереження Землі та океанів

Як і багато інших застосувань, супутникові спостереження земної поверхні та навколоземного простору виокремились із військових програм. Перший супутник дистанційного зондуван-

ня земних ресурсів (ERTS), запущений у 1972 році і спершу призначений для військових цілей, започаткував серію Landsat, яка визначила новий етап у спостереженнях за Землею. В Європі регулярні спостереження Землі із космосу розпочато із запуску апарата Метеосат у 1977 році і супутників дистанційного зондування ERS-1 і ERS-2, а потім Envisat. Супутники (а також авіаційні засоби) використовують технологію дистанційного зондування, яка заснована на застосуванні сенсорів, що аналізують електромагнітне випромінювання без фізичного контакту з об'єктами вивчення. У принципі ця технологія аналогічна тій, що використовується для вивчення інших планет, тільки об'єктом вивчення є земна поверхня. Супутникові дані можуть слугувати основою для подальшого аналізу, або інтегруватися в математичні моделі, які описують різні земні процеси.

Усе ширше застосування дистанційних даних зумовлено кількома обставинами. По-перше, це їхній об'єктивний і незалежний характер. По-друге, можливість постійного запису інформації дає змогу надавати сукупність окремих вимірювань та інформаційних продуктів на їхній основі у вигляді цифрових супутникових карт. Тривимірний набір даних дає безперервне просторове відображення зони спостережень, яке інтегрується в моделі або географічні інформаційні системи спільно з іншими типами даних. По-третє, можливість регулярно повторювати вимірювання одних і тих самих ділянок допомагає виявляти динаміку широкого кола змін, зумовлених природними процесами або діяльністю людини. І, нарешті, швидкий доступ до даних супутникових спостережень сприяє появі нових галузей застосування.

Використання супутникової інформації, отриманої за допомогою сучасних технологій спостереження Землі, пройшло кілька етапів. З 1980-х років серйозний прогрес у цій галузі пов'язаний із появою раніше неможливих повторюваних вимірювань високої якості для великих територій. Першим кроком було метеорологічне дистанційне зондування з геостаціонарної орбіти, за допомогою якого зараз складають майже всі прогнози погоди у реальному часі. Дані супутникових спостережень про катастрофічні події (лісові пожежі, повені, землетруси) стали важливим ресурсом для мінімізації збитків і підтримки гуманітарних місій. Глобальні спостереження допомогли оцінити негативний вплив діяльності людини і природних факторів на найважливіші екосистеми на Землі: тропічні ліси, посушливі райони (опустелюван-

ня), ліси помірного поясу, океани й узбережжя (перенесення речовини, Ель-Ніньо) [2].

Наприкінці XX — початку XXI століття відбулися якісні зміни у технологіях дистанційного зондування Землі (ДЗЗ): з'явилися космічні апарати зі знімальними системами нового покоління, що дають змогу отримувати знімки з надвисокою просторовою роздільною здатністю (до 41 см у супутника GeoEye-1). Зйомки ведуться у гіперспектральному та багатоканальному мультиспектральному режимах. Основними тенденціями останніх років є поява нових супутників надвисокої роздільної здатності з поліпшеними характеристиками (наприклад французька система Pleiades), розробка концепції оперативної та глобальної зйомки земної поверхні з високою роздільною здатністю за допомогою угруповань малих супутників (угрупування німецьких супутників RapidEye). У технологіях ДЗЗ крім традиційних напрямів (поліпшення просторового дозволу, додавання нових спектральних каналів, автоматизація процесів обробки й оперативного надання даних) з'являються розробки, пов'язані з оперативною відеозйомкою об'єктів із космосу (наприклад розробки компанії SkyBox Imaging, США).

У 2005 році міжнародне співтовариство (60 урядів) задекларувало створення системи систем спостереження за Землею GEOSS (Geo Earth Observation System of Systems), яка визначила новий етап у розвитку глобального моніторингу та застосування супутникової інформації для найважливіших застосувань (прогноз погоди, кліматичні зміни, контроль за енергетичними, водними, земельними ресурсами, біорозмаїттям, наслідками лиха, керування сільським господарством). Наступні події — ухвалення другого десятирічного плану впровадження (2016—2025), збільшення кількості учасників понад 100 країн, позитивні результати багатьох проектів — продемонстрували, що ця ініціатива домінує у системі глобального моніторингу.

Політична ініціатива провідних космічних держав виявилася привабливою для більшості учасників космічної діяльності, а наявні міжнародні проекти та ініціативи (такі як CEOS — комітет супутникових спостережень Землі, IGOS — Інтегрована глобальна стратегія спостережень, GCOS — Глобальна система спостережень за кліматом, GOOS — Глобальна система спостережень за океанами, GGOS — Глобальна геодезична система спостережень та ін.) поступово еволюціонують у бік складових частин

GEO або тісно із нею співпрацюють. Навіть самодостатній європейський проект (один із флагманів європейської космічної політики) COPERNICUS визначає свою діяльність як внесок у GEOSS. Початковою ідеєю нового міжнародного метапроекту стало поширення досвіду Всесвітньої метеорологічної організації, ВМО, на всю діяльність з моніторингу земної поверхні. У ході реалізації цієї ідеї вдалося загальне гасло — задоволення потреб користувачів — обернути на конкретні технологічні рішення та нові організаційні структури (серед останніх виокремимо ініціативу створення EuroGEOSS).

GEOSS [3] можна характеризувати як втілену ідею сучасної парадигми космічної діяльності: кінцевим продуктом виступають сервіси, орієнтовані на користувача, а створені технології засновано на найефективніших інноваційних рішеннях. Перш за все, це зменшення ризиків і збереження життя людей під час катастроф та лих, контроль стану довкілля, нові можливості керування енергетичними, водними і земельними ресурсами, забезпечення достовірних прогнозів погоди і прогнозів наслідків кліматичних змін. Новий рівень ефективності вирішення цих життєво важливих проблем досягається не стільки можливостями супутникових систем (хоча це необхідна умова), скільки поєднанням наземних і супутникових методів, принциповим поліпшенням моделей екосистем, а також створенням інформаційних сервісів для безпосереднього забезпечення користувачів.

Нова методологія надання інформаційних сервісів (так званий NEXUS підхід) спричинює революцію в технології використання даних [2, 4]. Йдеться про проблему Big Data, яка зумовлена не лише великим обсягом даних, а й їхньою різнорідністю, необхідною швидкістю обробки, фільтрації, документування її якості й невизначеностей, а також вимогами до візуалізації. Ця проблема, що виникає у різних галузях сучасної науки, має безпосереднє відношення до GEOSS — інтегрованої системи великого масштабу, що складається із безлічі діючих окремо підсистем, пов'язаних, однак, в інтересах вирішення спільних завдань. Варіант рішення запропоновано у рамках створення EuroGEOSS і передбачає організацію посередницької (брокерської) підсистеми — DAB (Discovery and Access Broker), яка забезпечує інтерфейс між користувачами і провайдерами [4].

Одне з найамбітніших завдань GEOSS у десятирічному плані (2016—2025) — забезпечити моніторинг сформульованих ООН ці-

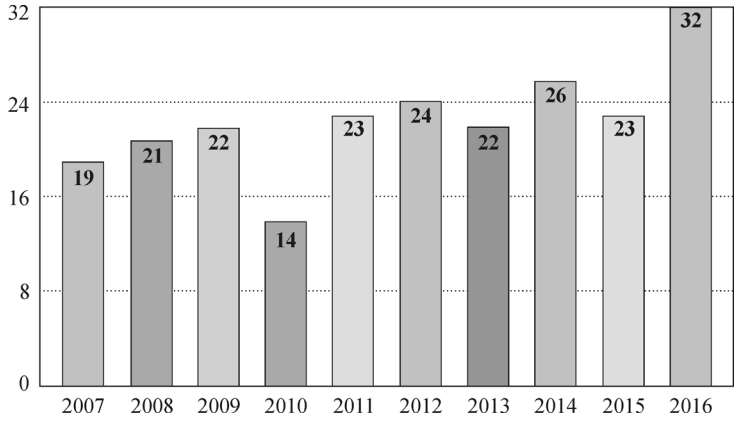

Рис. 3.1. Кількість запущених КА ДЗЗ масою понад 100 кг у 2007—2016 роках [6]

лей сталого розвитку (SDG — Sustainable Development Goals). Передбачається відстежувати 100 глобальних показників моніторингу, а також додаткові національні показники, які сукупно відображають увесь спектр SDG, пов'язаних із довкіллям [5]. Вирішення саме цього масштабного завдання, у першу чергу, стикається зі згаданою проблемою Big Data і зумовлює принципові зміни у використанні даних космічного моніторингу. Чи вдасться побудувати технологічний ланцюжок від спостережних даних до моделей геосистем, а від них до індикаторів сталого розвитку та далі до управлінських і політичних рішень, покажуть результати робіт кількох міжнародних команд фахівців до 2030 року.

Засоби супутникового спостереження. Ефективність методів ДЗЗ істотно зростає завдяки попиту на різноманітні послуги, а також розвитку урядових і міжнародних програм. За даними ресурсу [6] усього після 2000 року було запущено 616 супутників ДЗЗ, а за даними [7] у 2017 році активними були близько 317 апаратів. Діаграма на рис. 3.1 демонструє динаміку запусків щодо великих апаратів (масою понад 100 кг): у 2013 році лише 22 супутники, у 2017 році — 177.

Згідно з аналітичним дослідженням Forecast International [6] ця тенденція збережеться: з 2018 до 2032 року цивільні та комерційні оператори отримають близько 4000 супутників (у вартісному вигляді до $ 40 млрд). Ще однією тенденцією на ринку

супутників ДЗЗ є зростання комерціалізації. У 2011—2015 роках було запущено 363 комерційних супутники і 92 супутники в інтересах цивільних адміністрацій. З 2014 року кількість створених комерційних супутників значно перевищила число запусків цивільних супутників у вартісному вигляді.

Розглянемо коротко деякі приклади основних засобів космічних спостережень [2, 6—9].

На рис. 3.2 показана загальна схема європейського угруповання Sentinels, призначена для забезпечення виконання програми COPERNICUS. Розгортання системи, яке почалось із квітня 2014 року, здійснюють за дорученням Єврокомісії спільно ЄКА і EUMETSAT. Кожне із зазначених сімейств складається з декількох апаратів, які будуть заміщатись у разі закінчення терміну активного існування. Так, до Sentinel-1 входить пара SAR апаратів (1A і 1B), призначених для моніторингу криги, зрушень земної поверхні, повеней, розливів нафти тощо. Унікальність місії Sentinel-2 пов'язана із поєднанням великого територіального охоплення, частих повторних зйомок і, як наслідок, із систематичним отриманням повного покриття усієї Землі мультиспектральною зйомкою із високою роздільною здатністю. Основною метою місії Sentinel-3 є спостереження за топографією поверхні океану, температурою поверхні моря і суші, кольором океану і суші з високим ступенем точності та надійності для підтримки систем прогнозування стану океану, а також для моніторингу довкілля та клімату. Sentinel-3 — спадкоємець супутників ERS-2 і Envisat, що добре себе зарекомендували. Пара супутників Sentinel-3 характеризується високою повторюваністю зйомок; їхні орбіти (815 км) забезпечать отримання повного пакета даних кожні 27 днів. Місії Sentinel-4 і Sentinel-5, призначені для забезпечення даними щодо складу атмосфери, будуть реалізовуватись на платформі метеорологічних супутників Metop-SG і Jason-CS і доповнять дані метеорологічних супутників США (EOS-Auta).

Активний розвиток сфери надвисокої роздільної здатності ілюструють розробки компаній США та Франції. На сьогодні компанія DigitalGlobe є оператором супутників ДЗЗ надвисокої роздільної здатності WorldView-1 (50 см), WorldView-2 (46 см), QuickBird (61 см), GeoEye-1 (41 см) і IKONOS (1 м). Загальна добова продуктивність системи — понад 3 млн кв. км. КА GeoEye-2 має роздільну здатність у панхроматичному режимі: 0,25—0,3 м. У 2013 році був здійснений запуск нового КА Landsat-8 (проект LDCM — Landsat Data Continuity Mission), який поповнить банк зображень, що отримані за допомогою супутників серії Landsat протягом вже 40 років і охоплюють

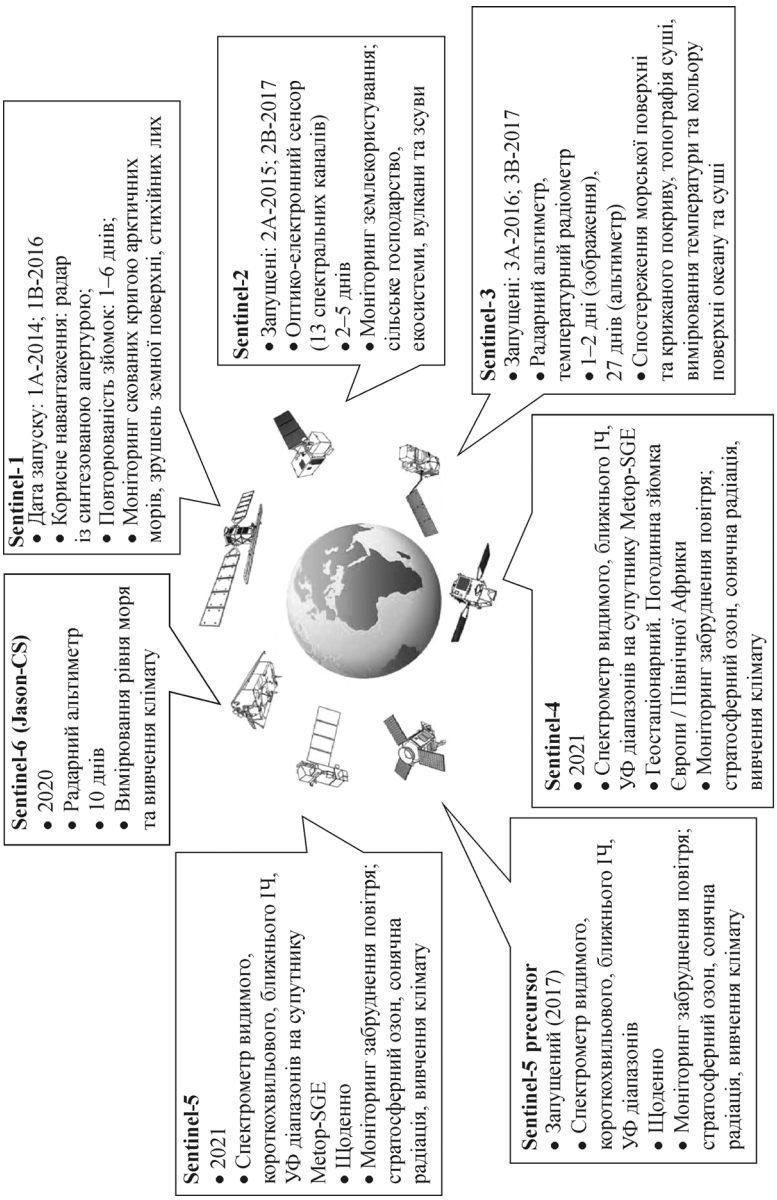

Рис. 3.2. Супутникова система Sentinels програми Copernicus [2]

усю поверхню Землі. На КА Landsat-8 встановлено два сенсори: оптико-електронний (Operational Land Imager, OLI) і тепловий (Thermal InfraRed Sensor, TIRS).

Європейська супутникова система ДЗЗ високої роздільної здатності Pleiades High Resolution створена французьким космічним агентством CNES. Супутники Pleiades-1A і Pleiades-1B (запущені у 2011 та 2012 роках) синхронізовані на одній орбіті таким чином, щоб мати можливість забезпечити щоденну зйомку однієї й тієї ж ділянки земної поверхні. Технології нового покоління забезпечують безпрецедентну маневреність: зйомка 800-кілометрової смуги у будь-якому місці здійснюється менш як за 25 с із точністю геопозиціонування менше 3 м без використання наземних опорних точок і 1 м — із використанням наземних точок.

Прикладом нової приватної ініціативи є проект Британської аерокосмічної компанії Earth-i, яка з 2019 року запускає перші п'ять супутників із великого угруповання постійного спостереження за Землею із роздільною здатністю менше 1 м.

В Індії успішно експлуатується угруповання із космічних апаратів різного призначення, у тому числі серії КА RESOURCESAT і CARTOSAT. Зокрема, КА RESOURCESAT-2 призначено для вирішення завдань запобігання стихійним лихам, керування водними та земельними ресурсами. Китай протягом останніх років створив багатоцільове орбітальне угруповання супутників ДЗЗ, що складається із декількох космічних систем — супутників видової розвідки, а також призначених для океанографії, картографії, моніторингу природних ресурсів та надзвичайних ситуацій: Yaogan (YG) -12, Yaogan (YG) -14 з оптико-електронною системою субметрової роздільної здатності; Yaogan (YG) -13 із радаром із синтезованою апертурою; КА Hai Yang (HY) -2A із мікрохвильовим радіометром, Zi Yuan (ZY) -1-02C. У 2012 році Китай став одним з лідерів за кількістю запусків: Yaogan (YG) -14 і Yaogan (YG) -15 (видова розвідка), Zi Yuan (ZY) -3 і Tian Hui (TH) -2 (картографічні супутники), КА Huan Jing (HJ) -1C (радіолокаційний). Космічні апарати TH-1 і TH-2 — перші китайські супутники, які можуть отримувати стереознімки у вигляді триплету для геодезичних вимірювань і картографічних робіт.

Канада розвиває серію супутників RADARSAT, зміцнюючи позиції лідера на ринку радарної зйомки. У цьому ж секторі британська SSTL розробила і в 2018 році запустила новий бюджетний радарний КА NovaSAR-S, який веде радарну зйомку із роздільною здатністю 6—30 м, вирішуючи широкий спектр завдань, включаючи моніторинг повеней, оцінку та класифікацію рослинного покриву, виявлення стихійних лих і спостереження за акваторіями, зокрема стеження за кораблями.

Рис. 3.3. Супутники різних класів і типів, запущені 2016 року [6]

Національні угруповання ДЗЗ створені в Іспанії (PNOTS), Німеччині (угруповання оптико-електронних супутників RapidEye, радарні космічні апарати TerraSAR-X і TanDEM-X), Ізраїлі (КА EROS-A, B), Японії (ALOS), Італії (радарні КА COSMO-SkyMed-1-4), Туреччині (серія супутників Gokturk), Росії. Супутники ДЗЗ мають Нігерія (Nigeriasat-X і Nigeriasat-2), Аргентина (SAC-D), Чилі (SSOT), Венесуела (VRSS-1), Об'єднані Арабські Емірати.

Кількість і типи супутників ДЗЗ, що запущені 2016 року, ілюструє рис. 3.3. Повний перелік космічних апаратів спостереження Землі відстежується Міжнародним комітетом із супутникових спостережень CEOS [9], аналітичні огляди розміщено на тематичних сайтах [6—10].

Фундаментальне значення для моніторингу погоди та кліматичних змін має міжнародне угруповання метеорологічних і геостаціонарних супутників, яке координується європейськими членами ЄВМЕТСАТ, США, Китаєм, Індією, Японією, Південною Кореєю та РФ (серії DMSP, NOAA, MetOp, JPSS). Між цими країнами досягнуто взаємодії високого рівня, що дає змогу оптимізувати процес спостереження, калібрувати дані (у рамках Глобальної інтеркалібрувальної системи, GSICS), розподіляти орбітальні ресурси (спільна американсько-європейська Система полярних супутників, JPS) та обмінюватись результатами (угода між Європою та Китаєм).

Вирішення глобальних і регіональних завдань передбачає новий рівень моделювання, вимоги до якого (як і до якості супут-

никових даних) сформульовано в аналітичному огляді [2]. Група експертів за дорученням COSPAR підготувала фундаментальний огляд стану і перспектив моніторингу геосистем на період до 2025 року, а також дорожню карту розвитку усіх складових із точки зору користувачів.

Про деякі напрями застосування та перспективи супутникових спостережень. Наразі сформувався виразний тренд розвитку супутникових спостережень як одного з пріоритетів космічної діяльності. 30 років супутникових спостережень Землі виявили принципово новий пласт інформації та закономірностей, невідомих раніше, хоча говорити про повноцінний моніторинг ще рано. Розглянемо коротко деякі результати та інноваційні рішення з точки зору підходу Why Space?

Кліматичні зміни

З початку 1980-х років сформувалися уявлення про кліматичну систему Землі та її найважливіші підсистеми. Це енергообмін; гідрологічний, водний, вуглецевий та інші цикли (рис. 3.4). Велику роль зіграла аналітична доповідь НАСА «Глобальні зміни: вплив на середовище проживання», у результаті якої сформувалось уявлення про пріоритети супутникових спостережень за

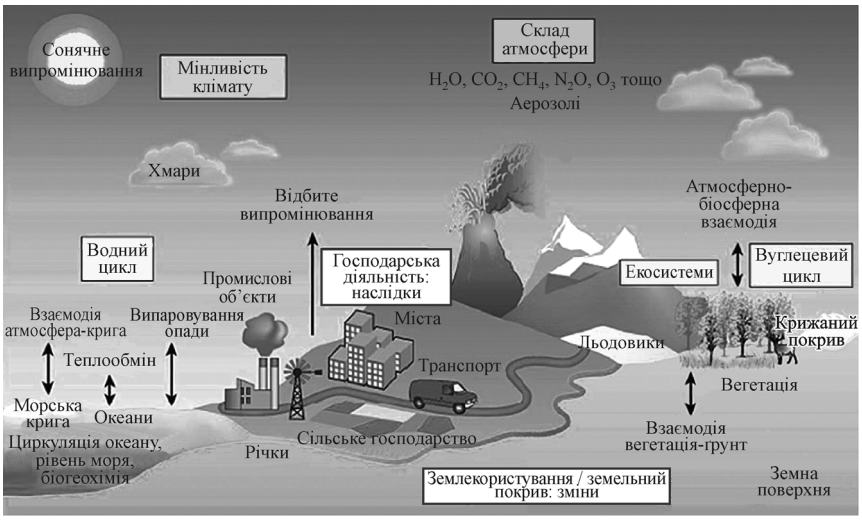

Рис. 3.4. Схематичний вигляд земної системи [2]

цими підсистемами. В епоху антропогенних впливів космічні засоби допомогли вивчити закономірності, які не виявлялися раніше. У першу чергу це зміни у кріосфері (зокрема підйом рівня моря, зменшення снігового покриву у північній півкулі, відступ льодовиків і льоду в арктичних морях), а також зменшення стратосферного озонового шару та зміна характеру забруднення повітря. Із останнім фактором пов'язують процес переміщення на північ зон рослинності (особливо на кордоні тайги і тундри).

На підставі супутникових спостережень перших трьох десятиліть склалось уявлення про подальшу організацію робіт, міжнародне співробітництво і перспективи передбачення можливих сценаріїв розвитку земної системи. Серед реалізованих заходів — послідовні дослідні та моніторингові місії (так, у США паралельно працюють НАСА і НОАА, а в Європі — ЄКА і EUMETSAT); використання глобальних даних для напрацювання політики охорони довкілля [5, 11—13]. Зазначимо, що доля Кіотського та Монреальського протоколів засвідчують, наскільки складним є втілення останнього принципу.

Глобальна супутникова система метеорологічних спостережень

Після запуску першого у США метеорологічного супутника TIROS (Television and Infrared Observation Satellite) у 1960 році і європейського КА Meteosat у 1977 році метеорологічні спостереження перестали забезпечуватись виключно наземними системами. Сьогодні на орбіті працюють понад 40 геостаціонарних [6, 8, 9] і полярних метеорологічних КА, а також дослідницькі супутники, які використовують нові методи спостережень і отримання даних. За даними Європейського центру середньострокових прогнозів погоди (ECMWF) супутникова інформація є найважливішою частиною глобальної системи спостережень для сучасного комп'ютерного прогнозування погоди.

Така висока значимість зумовлена двома причинами: а) засоби супутникових спостережень істотно поліпшились як щодо точності, так і щодо параметрів зйомки (просторових, тимчасових, спектральних); б) досягнуто значного прогресу у розумінні того, як використовувати супутникові дані для певних програм. Цей фактор є дуже важливим, оскільки отримання геофізичних

даних із використанням параметрів електромагнітного випромінювання зазвичай нетривіальне. Отже, використання таких спостережуваних величин, як, наприклад, поля яскравості, зробили необхідним серйозний прорив у розробці методик асиміляції супутникових даних.

Значне число прогнозів погоди на період більш як кілька годин виконують за допомогою комп'ютерних моделей, що мають врахувати основні фізичні закономірності шляхом розв'язання нелінійних диференціальних рівнянь і знаходження наближених чисельних розв'язків. Однак більшість із відповідних фізичних процесів, таких як турбулентність, перенесення випромінювання або створення хмар, не обробляються, а параметризуються. Зазвичай розрахунки проводяться на період від кількох до десяти днів. Хороші результати прогнозування в середньому досягаються для сьомого дня, хоча якість значно зменшується із часом. Таким чином, глобальна система метеорологічних спостережень забезпечує початкові умови для чисельного прогнозу погоди. Крім того, на основі супутникових спостережень випускають попередження про шторми, тропічні циклони, вітри на різних висотах і про коливання. Понад 90 % обсягу даних, асимільованих у глобальних моделях чисельного прогнозування погоди, надходить із космічних систем. Тим не менш, прямі вимірювання з поверхні за допомогою радіозондів і з повітряних суден так само необхідні для надання геофізичних змінних, які складно отримати за допомогою дистанційного зондування, а також для моніторингу дрібномасштабних явищ і забезпечення незалежної перевірки достовірності та калібрування даних.

Майбутні досягнення глобальних прогнозів погоди будуть визначатись інструментами з поліпшеною спектральної роздільною здатністю, глобальними спостереженнями за полями вітрів за допомогою допплерівського лідара, а також вимірюванням опадів і вивченням хімічного складу атмосфери. На певному етапі всі геостаціонарні супутники будуть обладнані гіперспектральними інфрачервоними датчиками, що забезпечують часте зондування температури і вологості. З точки зору стратегії майбутніх космічних систем спостережень варто очікувати продовження співпраці між оперативними і дослідницькими космічними місіями. У результаті буде створена всеосяжна і надійна система спостереження, в якій внески від різних супутникових операторів будуть доповнювати один одного. Ці місії будуть засновані на

потребах користувачів і спрямовані не тільки на прогноз погоди, а й на вирішення проблем оперативної океанографії, хімії атмосфери і моніторингу клімату [12—14].

Супутникова геодезія

Наші уявлення про Землю, її структуру, динаміку і взаємопов'язані процеси, які відбуваються в її надрах і на поверхні, швидко збагатилися завдяки використанню даних супутникових спостережень. Для більшості прикладних завдань необхідні одночасні спостереження за великими площами поверхні, а також вивчення форми, розмірів, особливостей обертання, гравітаційного поля, механічних властивостей Землі шляхом спостереження положень супутників Землі. Це здійснилось у 1980-х роках, коли супутникова геодезія стала невід'ємним компонентом сучасних геодинамічних досліджень, унаслідок чого відбулися революційні зміни в науках про Землю [14].

Завдяки новій просторово-часової інформації, заснованій на радіоінтерферометрії із наддовгими базами (РНДБ) і глобальній системі позиціонування (GPS), отримано безпосередні вимірювання швидкості руху тектонічних плит. Сучасні дані про тектоніку плит уможливили передбачення широкого кола явищ, зокрема у галузі сейсмічних явищ і кліматичних змін. Нові методи реєстрації тривимірних деформацій земної кори на основі GPS і лазерної локації та високоточні вимірювання інтерферометричного радара із синтезованою апертурою InSAR надають передбачення сейсмонебезпечних явищ високого рівня.

Високоточні вимірювання швидкості обертання Землі за допомогою GPS і лазерної локації геодезичних супутників LAGEOS і STARLETTE дали змогу оцінити динаміку зрушень положення полюсів Землі та зміни тривалості дня.

Три супутникові місії CHAMP (2000—2010), GRACE (2002—2015), GOSE (2009—2013) вивчали гравітаційне поле Землі, зокрема просторові і тимчасові його варіації; картографування гравітаційного поля використовується у безлічі прикладних геофізичних завдань, таких як конвективний рух у мантії або виявлення варіацій рівня моря.

Докладне вивчення магнітного поля Землі зараз проводить місія з двох супутників SWARM (продовжує програму, яку раніше виконували три низькоорбітальних супутники ORSTED, CHAMP і SAC-C). Очікується, що у результаті цієї місії магнітне поле

Землі буде детально вивчено протягом усього 11-річного циклу сонячної активності. Глобальні виміри геомагнітного поля все ширше використовуються в геологорозвідці, навігації, оцінках структури літосфери, а також для вивчення магнітосфери, іоносфери та дії космічного випромінювання.

Ці приклади пояснюють надзвичайно високу оцінку супутникової геодезії, яка не тільки стала ключовою складовою сучасної геодинаміки, а й посприяла корінним змінам у сучасних науках про Землю.

Моніторинг поверхні суші та океанів

Ця найрозвиненіша сфера застосування супутникових спостережень безпосередньо пов'язана з економічною діяльністю і життям людини. Коротко розглянемо вибірку галузей застосування дистанційних методів відповідно до рубрикації, запропонованої в [2, 14].

Картографія та класифікація типів поверхні. Базовою вимогою керування земельними ресурсами та природоохоронної діяльності є використання поновлюваної інформації щодо характеристик земної поверхні. Картографування земної поверхні в інтересах землекористування здійснюється у різних масштабах. Найзатребуванішою в Європі в сфері середньої роздільної здатності (масштаб відображення 1: 100000) була програма CORINE для ґрунтово-рослинного покриву, заснована на аналізі даних КА Landsat-7, яка використовується як універсальний продукт для широкого спектра завдань.

Сільське, лісове та водне господарство. Інноваційні концепції застосування дистанційних даних в аграрній сфері використовують сукупність навігаційної, спостережуваної та ГІС-інформації (топографія, характеристика земель, вологість ґрунту). Найрозвиненіша технологія точного землеробства знаходить дедалі більше використання у фермерському середовищі. Інший рівень користувачів — керівники і політики, для яких прогноз стану агроресурсів є питанням продовольчої безпеки й інструментом економічного регулювання.

Супутникові дані сьогодні надають достовірну інформацію про склад деревини, її щільність, стан розвитку, вміст вологи та кількість біомаси. Така технологія у сукупності із даними спостережень минулих років створює ретроспективу еволюції лісо-

вих масивів, кількісну оцінку зміни видів, співвідношення природних лісів і насаджень, наслідків вирубок.

Повені, лісові пожежі, менеджмент аварій. Оптичні та радіолокаційні датчики здатні реєструвати розподіл паводкових вод, а затоплені райони можна класифікувати залежно від спектральних і текстурних характеристик. Картографування пожеж проводиться сенсорами у середньому і тепловому ІЧ діапазонах. Супутникові дані про ці та деякі інші лиха використовують спільно із традиційними картами, що відображають рельєф, транспортну мережу або сільськогосподарські угіддя. Міжнародними програмами «Хартія щодо космосу і глобальних катастроф» (International Charter on Space and Major Disasters), 1999, і програмою ООН UN SPIDER (United Nations Platform for Space-based Information for Disaster Management and Emergency Response), 2006, передбачено безкоштовне надання космічних даних для швидкої оцінки наслідків катастроф.

Опустелювання. Дистанційні дані для цього використання є винятково ефективними, оскільки дають можливість робити висновки щодо швидкості процесу та порівнювати різні ландшафтні зони. Найвідоміший процес опустелювання, задокументований за допомогою супутникових даних, — Аральське море.

Топографія. Сьогодні цифрові моделі рельєфу — найважливіша інформація, що використовується у геопросторовому аналізі. Дистанційні дані вже стали істотним доповненням наземних і аерофотограметричних спостережень. Створення цифрових моделей дає змогу розробити технології зйомки в оптичному та ближньому інфрачервоному діапазонах (накладенням стереозображень), а також SAR-інтерферометрії.

Землетруси та виверження вулканів. Технології інтерферометрії за допомогою даних радарів із синтезованою апертурою (InSAR) довели свою інформативність у моніторингу наслідків більш ніж 30 землетрусів: реєструються зрушення поверхні близько 500 мм у разі охоплення значних площ (100 × 100 км). Ще однією перевагою є можливість спостереження важкодоступних площ. Дистанційні методи — єдино можливі методи для дослідження енергії, що виділяється поблизу вулкана або у хмарах виверження.

Пошук корисних копалин і вивчення ґрунтів. Геологічне картування, засноване на використанні мультиспектральних оптичних датчиків (таких як Landsat), використовує спектральні характеристики породоутворювальних мінералів; космічні SAR-системи забезпе-

чують можливість структурно-тектонічного аналізу нових районів геологорозвідки. Таким чином, з'явився новий тип карт — мінеральні карти, які відображають фундаментальні геологічні ознаки і надають інформацію щодо розподілу мінералів поблизу родовищ.

Забруднення. Дистанційні методи є допоміжними засобами для локалізації забруднень, моніторингу наслідків аварій. Використовуються непрямі дані (стрес рослинності), а також спектральний аналіз поверхні під дією зовнішніх факторів і фіксація змін.

Моніторинг міських агломерацій. На підставі оптичних даних середньої роздільної здатності оцінюються розширення площ забудови, зменшення зелених зон, площа несанкціонованої забудови, що дає змогу прогнозувати соціально-економічні та екологічні ризики. Вимірювання теплових потоків надають нові дані про вплив мегаполісів на довкілля.

Спостереження за кріосферою та поверхнею океанів. З погляду економічного використання (про вплив на клімат зазначено вище) неперервні супутникові спостереження використовуються для оптимізації рибальства, спостережень за екологічними змінами (цвітіння води), безпеки судноплавства (характеристики вітрів і хвилювання). Найважливішими вимірюваними (відновлюваними) параметрами є температура морської поверхні, поля вітрів, характеристики хвиль, продуктивність фітопланктону, динаміка льодового покриву, оцінка забруднень (розливів нафти).

Застосування супутникових спостережень розширюється за рахунок швидкого упровадження нових засобів зйомки, комплексування різних джерел інформації, застосування малих космічних апаратів. Розширення ринків ДЗЗ призводить до прискорення комерціалізації цього виду космічної діяльності; однак на сьогодні його розвиток, у тому числі комерційного сектору, визначається бюджетною політикою держав і масштабними міжнародними ініціативами (такими як GEOSS або COPERNICUS). Перспектива розвитку пов'язана з усвідомленням на різних рівнях нових можливостей і безальтернативності забезпечення сталого розвитку за допомогою глобальних спостережень Землі.

3.3. Про супутникові телекомунікації

Ця сфера займає найбільший сегмент у сучасній космічної діяльності, а послуги орієнтовані на найширше коло користувачів. Із 1400 космічних апаратів, що активно працюють, більше

половини — телекомунікаційні. Внесок комерційної складової в обіг космічного сектору економіки (до 70 %) визначається, головним чином, цим сектором послуг, який практично не споживає бюджетного фінансування (виняток становлять оборонні замовлення) [10, 14, 15]. Комерційний характер космічних телекомунікацій виявляється і в оновленні технічного вигляду наземних і космічних систем, який формується в умовах жорсткої конкуренції із наземними технологіями. Початок супутникових телекомунікацій справедливо пов'язують з ідеєю А. Кларка використовувати геостаціонарну орбіту (ГСО або орбіту Кларка), розмістивши на ній ретрансляційні станції. Так, три супутники, розташовані над екватором на відстані відповідно до 120 градусів дуги, могли б забезпечити повне покриття земної кулі (крім Південного та Північного полюсів). Ця ідея на практиці здійснилась (після декількох демонстраційних спроб) у 1965 році, коли новостворена організація Intelsat (International Telecommunication Consortium) вивела на геостаціонарну орбіту свій супутник Early Bird (Intelsat-1), потім були створені аналогічні регіональні організації (Eutelsat, Arabsat та ін.). З плином часу частка передавання мови у загальному обсязі магістрального трафіку постійно знижувалася, поступаючись місцем передаванню даних.

Перші супутники зв'язку розроблялися для забезпечення послуг передавання на великі відстані. Вони призначалися для передавання у діапазоні відносно високих частот, а сигнал складався або з великої кількості індивідуальних телефонних з'єднань, або одного телевізійного каналу. Далі ринок телекомунікацій зазнав серйозних змін через збільшення кількості трансокеанських кабелів, а також розвиток оптоволоконних технологій; при цьому можливості супутників істотно поліпшувались.

Переваги використання супутникового зв'язку порівняно із наземними засобами пов'язані із широкою зоною покриття, яку можна забезпечити навіть за допомогою одного супутника, і відносно низькою вартістю розробки та виведення на орбіту супутникових систем порівняно зі створенням еквівалентного покриття наземних мереж. До цього треба додати відносно короткий час забезпечення 100%-вого покриття порівняно з розгортанням наземного покриття. Важливою перевагою є можливість мобільного зв'язку для суден і літаків над океаном, а також у регіонах, де наземні засоби є недосяжними.

З огляду на вимоги ринку пропускну здатність супутників стрімко нарощували. Коли 1968 року був уведений в експлуата-

цію Intelsat-3, його пропускна здатність становила 1200 одночасних голосових операцій і два телевізійних канали. У 1971 році Intelsat-4 забезпечував до 4000 операцій, а Intelsat-5 у 1980 році — до 12 000 [15]. Водночас існують обмеження пропускної здатності, які пов'язані з обмеженнями використовуваного частотного спектра. Волокно-оптичні кабелі мають дуже широку смугу пропускання, і коли супутники стали програвати у пропускній здатності кабелям, ролі, в яких вони домінували, змінилися.

По-перше, нові технологічні розробки здолали роль супутника як ретранслятора. Сучасні апарати як корисне навантаження несуть не лише транспондери, а й рефлектори, що розгортаються у космосі. Останні формують сотні вузьких променів, які забезпечують багаторазове використання одного і того ж частотного інтервалу. Крім того, розроблена технологія генерації вужчих променів, які покривали території більші за зону прямої видимості із супутника.

По-друге, галузі застосування супутникового зв'язку залежно від типу послуг і користувача сконцентровані на певних сегментах: фіксована супутникова служба (FSS), мобільний супутниковий телефонний зв'язок (MSS), супутникова служба радіомовлення (BSS), послуги передавання даних (DRS). З усіх додатків для супутників найприбутковішим є їхнє використання у безпосередній трансляції із супутників в ефір телевізійних програм (Direct to Home, DTH). Здатність одного геостаціонарного супутника забезпечити мовлення телевізійних каналів на великій території дає змогу декільком таким супутникам отримувати річний дохід у десятки і сотні мільйонів доларів.

Перспективи розвитку супутникового зв'язку пов'язані із прогнозованим зростанням потреб у передаванні інформації. Світовий попит на пропускну здатність, особливо для інтернет-трафіку, зростає у геометричній прогресії і, як очікується, буде збільшуватись у найближчому майбутньому. Згідно з оцінкою потреб однієї людини у пропускній здатності інтернету, зробленою для США в 2001 році, передбачався сукупний річний темп зростання (Cumulative annual growth rate, CAGR) близько 100 %. Фактичне зростання в 2003 році становило приблизно 75% . За прогнозами Cisco глобальна цифрова трансформація у 2016—2021 роках буде так само істотно впливати на запити і потреби IP-мереж [16]. На це насамперед вказують: прогнозоване зростання кількості інтернет-користувачів (від 3,3 до 4,6 млрд, тобто 58 % світового населення), прискорене збільшення кількості персональних пристроїв

і міжмашинних з'єднань, збільшення середньої швидкості широкосмугового доступу і приріст відеотрафіку. Як очікується, світовий обсяг IP-трафіку за прогнозний період виросте утричі та до 2021 року досягне 3,3 зеттабайт (у 2016 році аналогічний показник становив 1,2 зеттабайт). На частку застосування інтернету речей у світі до 2021 року припадатиме понад половини пристроїв і з'єднань [17]. Супутникова складова у цьому обсязі становить невеликий відсоток, проте в абсолютних значеннях зростання вартості сервісів має вражати.

Яскравим прикладом стрімкого розвитку супутникового інтернету є старт проекту Starkink. У травні 2019 року компанією І. Маска SpaceX запущено перші 60 (із 12 000 запланованих) супутників глобальної мережі інтернет-трафіка.

Інноваційним використанням ІКТ, у тому числі супутникових, є *телемедицина*. Зараз у багатьох країнах у практику введено штатні послуги телемедицини (наприклад, телерадіології — передавання цифрових радіологічних зображень (рентгенівських знімків) з метою інтерпретації та/або консультації). ВООЗ розробляє проект створення глобальної мережі телекомунікацій у медицині, що охоплює електронний обмін науковими документами та інформацією, її прискорений пошук із доступом через телекомунікаційні мережі. Найрозвиненішим є ринок телемедичних консультацій у США: у 2016 році в країні було проведено близько 1,25 млн телеконсультацій, які сприяли скороченню кількості госпіталізацій і звернень за наявною консультацією.

Нової якості сервісів варто очікувати від поєднання даних супутників зв'язку та супутників для спостереження за Землею, що призведе до ефективнішого моніторингу катастроф, їхніх наслідків та надання допомоги. Таке об'єднання здатне забезпечити швидке виявлення та реагування на природні та техногенні катастрофи. Розвивається нова індустрія, що надає транспортним засобам послуги, які є синтезом послуг зв'язку та навігації.

3.4. Про супутникову навігацію

Створені для потреб оборони системи супутникової навігації забезпечують сьогодні широке коло споживачів інформацією щодо місцезнаходження і часу, цілодобово, незалежно від погоди, по всій земній кулі та у навколоземному просторі. Супутникова навігація є найефективнішою з точки зору точності, доступ-

ності, цілісності і безперервності порівняно із будь-яким іншим наземним датчиком або методом.

На теперішній час для позиціонування, навігації та синхронізації використовуються американська глобальна система позиціонування (GPS), російська глобальна навігаційна супутникова система (ГЛОНАСС), європейська супутникова навігаційна система «Галілео» і Compass — супутникова навігаційна система за керуванням уряду Китаю. Є й менш масштабні системи (ARGOS, EUTELTRACS, GEOSTAR). Супутникові навігаційні технології все частіше використовуються практично в усіх сферах діяльності, а високий рівень ефективності вже зробив їх необхідним інструментом для вирішення багатьох професійних, комерційних і наукових проблем [18—21].

Наявність мереж зв'язку та географічних інформаційних систем (ГІС), а також загальне скорочення витрат, зменшення розміру та споживаної потужності супутникових навігаційних приймачів вивели цей ринок на великий обсяг споживання. Державні органи, наприклад Європейська комісія, встановлюють регулятивні норми, що сприяють використанню супутникової навігації з метою підвищення безпеки та ефективності усіх видів транспорту (залізничного і автомобільного, морського, авіаційного). Крім того, високоточне позиціонування успішно використовується у спостереженнях, геодезії, багатьох відгалуженнях наук про Землю (геодинаміка, вивчення погодних і кліматичних явищ). Точне визначення часу — необхідний компонент телекомунікацій, енергетики, фінансового сектору та страхування.

Інфраструктура європейських країн використовує можливість неперервного високоточного вимірювання часу для синхронізації базових станцій зв'язку та мережі енергопостачання, банківських і фінансових операцій. Очевидно, що використання системи GPS у воєнній сфері зумовлює її значну роль у керуванні системами озброєнь.

У цих сферах сучасної економіки та керування безперервне обслуговування має життєво важливе значення. Порушення систем супутникової навігації є загрозою для економіки, безпеки та пов'язаних із безпекою сервісів. Тому у кожній глобальної навігаційній супутниковій системі вживають запобіжних заходів для захисту послуг, які повинні надаватися неперервно, що вимагає спектрального розподілу частот і забезпечення контрольованого доступу.

З огляду на статистичну інформацію зі згаданих сфер діяльності можна зробити висновок про те, що у супутниковій навігації дійсно спостерігається загальний прорив у застосуванні. Однак комерційні використання супутникової навігації стикаються із труднощами, оскільки власне продукти супутникової навігації (координати місцезнаходження та швидкості) не можуть самі по собі давати прибуток. Тільки у разі створення додаткових послуг шляхом об'єднання позиціонування і часу із послугами зв'язку та географічною інформацією гарантовано комерційний результат.

Із появою GPS багато дисциплін збагатилися новими методами. Так, методи оцінювання змісту водяної пари для поліпшення моделей погоди чи радіопросвічування іоносфери можуть слугувати прикладами додаткових продуктів, які ніколи не закладались під час розробки GPS. Цілком реалістичними є припущення щодо розробки нових застосувань супутникової навігації, яка у багатьох випадках використовується також для здійснення геоінформаційних та телекомунікаційних послуг.

Прогнозується також зростання точності позиціонування (аж до субміліметрового рівня), надійнішими стануть кінематичні можливості у режимі реального часу. Користувач матиме змогу відстежувати дані більшої кількості супутників, використовуючи один і той самий приймач (угода між GPS і GALILEO). Це призведе до більшої надійності і появи багатьох нових послуг.

Стане можливим супутникове позиціонування та навігація у приміщенні, під час використання нових розробок в обробці сигналів для підвищення чутливості і відстеження слабких сигналів. У майбутньому приймачі супутникової навігації будуть інтегровані з різноманітними датчиками для того, щоб подолати недоліки супутникової навігації в деяких випадках (переривання сигналу, стеження, автономія тощо).

3.5. Безпека й оборона

Застосування космічних технологій у сфері безпеки і оборони виходить за межі цього огляду, оскільки передбачає інший погляд на всю космічну діяльність та іншу структуру викладення. Однак скористаємось сентенцією одного з документів Європейського інституту космічної політики: «Космос має оборонний вимір, а оборона, у свою чергу, має вимір космічний» [22]. Це виправдовує коротке резюме даної теми під кутом зору «Why

space?», який презентує невійськового користувача. Конкретніше, розглянемо два аспекти застосування космічної техніки і технологій, які створюють тренди сучасної КД. По-перше, це концептуальний підхід європейської космічної політики щодо подвійного застосування космічних засобів, а по-друге, це нова американська стратегія військового космосу, яка може впливати на образ сучасної КД у цілому.

Європейська політика безпеки і оборони (European Security and Defence Policy, ESDP) [23] визначає всеосяжний підхід ЄС до урегулювання криз, який охоплює використання як цивільних, так і військових засобів. Цей підхід спрямовує космічну діяльність на рівні ЄС, де принцип подвійного застосування космічних технологій є пріоритетом (в «Європейській космічній політиці» є спеціальний розділ ESDP and Space) [24]. Це означає, що цивільні космічні програми ЄС, Galileo і COPERNICUS мають військових користувачів і можуть застосовуватись у разі воєнних конфліктів (нагадаємо, що первісна назва проекту COPERNICUS –GMES (Глобальний моніторинг в інтересах довкілля та безпеки).

Політика, заснована на цивільно-військовому підході до урегулювання криз, має і важливу економічну складову. Поряд із оптимізацією виробництва, запобіганням дублюванню тощо вирішується стратегічне завдання формування європейського аерокосмічного й оборонного сектору. Він повинен об'єднати цивільні та оборонні виробничі потужності навколо двох транснаціональних системних інтеграторів (EADS і Thales Alenia Space), що сприятиме технологічному зближенню цивільних і військових космічних програм, а також реалізації космічних ініціатив у масштабах усього ЄС.

Таким чином, відбувається процес зрощення цивільного та військового космосу за трьома напрямами: створення технологій подвійного застосування, залучення приватних інвестицій у космічні технології і, з одного боку, спільне використання систем для передавання інформації цивільним відомствам від військових засобів, а з іншого — залучення комерційних космічних систем для вирішення військових завдань [25].

Прикладами реалізації цього підходу може слугувати програма ЄКА Space Situational Awareness (SSA), призначена для забезпечення доступу до космосу та використання його ресурсів. Вона складається із трьох компонентів, що відстежують космічну погоду, навколоземні об'єкти (астероїди і комети, які можуть потенційно впливати на Землю) та космічне сміття. Кожен з ком-

понентів має наукову складову, а організовані сервіси є програмою оборонного значення.

Ще один приклад — космічні угруповання COSMO-SkyMed (4 КА, оснащені РСА, уведені в експлуатацію 2008 року) і Pléiades (2 КА, оптика високої роздільної здатності 0,5 м, 2012 року), які є складовою частиною ініціативи GMES/COPERNICUS. Технічні можливості цих угруповань допомагають вирішувати широке коло військових завдань і водночас забезпечують їхнє комерційне використання.

Дані з військових супутників і цивільних апаратів разом з іншою інформацією (демографічна статистика, транспортна інфраструктура) активно використовуються у ГІС-системах для вирішення ширшого кола завдань моніторингу за небезпечними явищами та наслідками конфліктів. Показовий приклад — ГІС-система, розроблена для відновлення Косово і передана місцевій владі [14].

У галузі моніторингу катастроф (лісових пожеж, повеней), менеджменту аварійних ситуацій і організації гуманітарної допомоги ключовим технологічним завданням є спільне використання даних дистанційного зондування і телекомунікаційних систем. Трагедія 2004 року у Таїланді засвідчила, що однією з причин масової загибелі людей стала відсутність своєчасного попередження, хоча спостережна інформація надавала таку можливість. Військові технології у цій сфері демонструють величезні можливості сучасного комплексного застосування космічних технологій. Так, досвід воєнної операції союзників у Афганістані 2002 року продемонстрував новий рівень контролю за ситуацією й керування бойовими діями. В умовах гірської місцевості кожен військовослужбовець отримував детальну відеоінформацію із супутника, від власних засобів, підтримуючи неперервний зв'язок із командуванням через супутник. Таким чином, ефективність спільних дій і кожного учасника операцій принципово зростала, хоча відбувалось це поза зоною прямого контакту. Такий досвід має величезну цінність для організації рятувальних операцій у малодоступних районах.

Викладене вище належить до одного з аспектів військового застосування космічних технологій, а саме використання інформації космічних засобів на землі. Військова космічна діяльність традиційно включає у себе кілька складових: забезпечення доступу до космосу, розвідку, зв'язок, навігацію та контроль пересувань на суші, на морі, у повітрі і в космосі, зокрема системи попередження про ракетний напад. Коротка інформація про де-

які технології, що розробляються і діють, подана з використанням класифікації з огляду [26].

Напрям, що інтенсивно розвивається, — створення супутників (мікросупутників), здатних маневрувати на навколоземній орбіті. Це дасть змогу створювати гнучкі супутникові системи: концентрувати їх над зоною конфлікту і модернізувати компоненти без заміни супутників. Відомо про запуски кількох експериментальних апаратів США і РФ. Активно обговорюються орбітальні експерименти США, РФ і Китаю, які продовжують програми винищувачів-супутників епохи холодної війни. У 2007 році КНР виконала успішне випробування протисупутникової зброї: ракетою КТ-1 було знищено метеорологічний супутник, який виробив свій ресурс і перебував на висоті понад 800 км.

Системи контролю космічного (навколоземного) простору дають змогу отримати картину космічної діяльності різних держав. Повноцінну систему СККП мають США та РФ (відновлено відповідну радянську систему, а європейська SSA згадувалася вище). США крім розвиненої наземної інфраструктури, що розташована у різних точках світу і допомагає контролювати навколоземну орбіту, мають три супутникові системи: орбітальну систему космічного спостереження (Space Based Surveillance System, SBSS), космічну систему супроводу та спостереження (Space Tracking and Surveillance System, STSS) і геосинхронні супутники системи виявлення космічних об'єктів (Geosynchronous Space Situational Awareness Program, GSSAP).

Американський безпілотний космічний корабель багаторазового використання Х-37В — це експериментальний зразок, який з 2010 року демонструє можливість протягом багатьох місяців перебувати у навколоземному просторі, змінювати свою орбіту, здійснювати посадку на аеродром і після необхідного обслуговування знову вирушати в космос. Апарат може грати роль важкого супутника розвідки і зв'язку та бути носієм мікросупутників.

Ще один експериментальний напрям військового космосу — спроби створення гіперзвукових літальних апаратів. Планується, що вони будуть переміщатись у верхніх шарах атмосфери та по суборбітальній траєкторії, а керуватися за допомогою космічних систем. При цьому запуск може здійснюватися з використанням ракети-носія легкого класу. Гіперзвуковий рух відкриває дорогу до практичної реалізації концепції швидкого глобального неядерного удару (Prompt Global Strike).

Після закінчення холодної війни і досягнення безпрецедентного рівня міжнародного співробітництва вважалося, що суперництво в космосі перемістилось, головним чином, до технологічної сфери. Більш того, на концептуальному рівні КД розглядалися як приклад «м'якої сили» [27]. Концепт «м'якої сили» виражено у здатності держави домагатися бажаних результатів невійськовими методами, за допомогою розвитку духовної та матеріальної культури, дотримання суспільних і політичних принципів, що підвищують привабливість держави. Цей концепт протистоїть колишній ідеології Space Power — космічна міць, сенс якої аналогічний, наприклад, моці морській [28].

Практична діяльність і стратегічні документи США свідчать про реальність повернення воєнного протистояння в космосі. Ухвалена у США військова доктрина передбачає не тільки використання космічних засобів під час бойових дій на Землі, а й проведення операцій у космічному просторі. Знаковою подією стало рішення Президента США Д. Трампа щодо організації космічних сил (Space Force), яке повинно бути реалізовано у 2020 році. Бурхливе обговорення деталей найбільшої з 1947 року реформи американських збройних сил не повинно заступити принциповий тренд посилення військового аспекту світової космічної діяльності. Формальною причиною цього рішення стали відомості про випробування в РФ і Китаї нових протисупутникових систем, які обмежують свободу дій США у космосі [29]. Однак є підстави вважати, що ці факти стали приводом для готового рішення, яке раніше знайшло відображення і у військовій доктрині, і у космічній стратегії США. Причина таких резонансних дій закладена в концептуальних засадах американської космічної політики, що орієнтована на глобальне домінування. Сучасні рівень космічних систем переводить у практичну площину проблему освоєння космічних ресурсів як умову національного розвитку: космос стає величезним ринком [30]. Тому, вибудовуючи власну позицію щодо космічної стратегії, необхідно враховувати військові аспекти усіх міжнародних програм, включаючи місячну та марсіанські місії.

РОЗДІЛ 4

ПРО КОСМІЧНУ ЕКОНОМІКУ

Інновація відрізняє лідера від того,
хто його наздоганяє.
С. Джобс

4.1. Вступ

З економічної точки зору космос — це ресурс, який використовується для земних потреб, а космічна індустрія є специфічною галуззю (як авіація чи геологорозвідка). Предметом розгляду стають закономірності господарських процесів між суб'єктами КД, потоки матеріальних цінностей і коштів. При цьому використовують різні рівні розгляду: макро-, мезо- або мікроекономічний та аналізують вплив космічної індустрії на економіку країни чи показники роботи окремих підприємств.

У даному розділі немає повного огляду цієї проблематики або вичерпного аналізу економічної складової КД. Її спрямованість (Why Space?) визначає пріоритетність питань: у що обходиться сьогодні, що дає і що може дати в економічному плані космічна діяльність з точки зору космічних перспектив України. Тому нижче використовуються результати різних аналітичних праць, які допоможуть сформулювати підстави для відповідей на ці питання.

Можна говорити також про різні точки зору, з яких розглядається економіка КД. Від початку космічної ери популярними є розрахунки окупності космічних поселень, доставляння на Землю корисних копалин і постачання енергії. Із закінченням холодної війни та воєнно-стратегічного протистояння супердержав актуальними стали проблеми комерціалізації космічних програм, трансферу технологій у цивільні галузі. Космічні агентства мають спеціальні програми для впровадження космічних розробок у земні технології (spin-off), а також використання проривних рі-

шень земної промисловості для космічних потреб (spin-in). Неодмінним атрибутом менеджменту космічних програм стала оцінка їхньої соціально-економічної ефективності. Ці тенденції зумовлені все більшою орієнтацією програм на споживачів порівняно із традиційним завданням стратегічного домінування. Зазначимо, однак, разом із автором [1], що і сьогодні економічний аспект космічних програм далеко не завжди є визначальним: «Physics Enables, Politics Dictates, Economics Sustains». Багато програм, як і на початку космічної ери, мають політичну мотивацію чи стимулюються міркуваннями військової й стратегічної переваги. І все ж економічна оцінка запланованих місій належить сьогодні до пріоритетних критеріїв ухвалення рішень, а оцінкою ефективності програм займаються авторитетні дослідницькі центри.

Перш за все розглянемо фундаментальне питання щодо економічної віддачі космічних програм і перспективної їхньої прибутковості. Об'єктивна статистика свідчить про постійне збільшення кількості країн, що мають космічні програми (на 2018 рік їх було близько 40), тобто постійно витрачають бюджетні гроші на космос. Причому космічні гранди (США, ЄС, Китай, Росія, Японія) підтримують практично постійний високий рівень космічних витрат, попри кризові періоди. Водночас країни з економікою, що динамічно розвивається (Індія, Бразилія, Ізраїль, Аргентина, В'єтнам, Туреччина), демонструють бажання неухильно нарощувати космічний потенціал. Тенденція вкладати значні кошти у певні (пріоритетні) види космічних технологій характерна й для країн, що прагнуть регіонального лідерства (Туреччина, Іран, Єгипет, ОАЕ). Можна зробити висновок, що економічне зростання більшість урядів пов'язують із застосуванням космічних технологій і тому витрачають значні бюджетні кошти на космічні програми.

Аналітики-скептики стверджують, що космос — це царина для держав, які прагнуть до глобального домінування; польоти за межі земної атмосфери підвищують імідж, стратегічну значимість тощо, але не передбачають суттєвого економічного ефекту. Дійсно, практично всі значущі космічні програми на сьогодні не є прибутковими і підтримуються бюджетним фінансуванням. Ті, які вийшли на комерційне використання, охоплюють величезні приховані витрати минулих років: телекомунікаційні та навігаційні проекти використовують технологічні напрацювання часів холодної війни, які передані державою до приватного сектору.

Стратегічна орієнтація сучасних міжнародних програм спрямована на дослідження та освоєння космічного простору (від навколоземної орбіти до Місяця та Марса), а тезу 1980-х років про індустріалізацію космосу сучасна космічна політика відклала. Нині обговорення комерційних перспектив космонавтики відбувається в основному у двох напрямах: космічний туризм і використання малих космічних апаратів. Необхідно визнати, що у найближчій перспективі нереалістично говорити про прибутковість космонавтики: з можливих ресурсів космосу (енергія, сировина, унікальні технологічні умови тощо) людина навчилася використовувати лише просторовий фактор. Ймовірний прорив у комерціалізації КД потрібно пов'язувати з двома умовами, виконання яких спостерігається в останні роки: різке зниження вартості пускових послуг і прихід приватного капіталу в космонавтику.

Для того щоб відповісти на питання, навіщо розвивати галузь, яка сьогодні не дає швидкого та відчутного економічного ефекту, недостатньо заглянути у поточні космічні стратегії та програми (детальніше див. розділ 7). Офіційні документи наводять прогнозні дані щодо впровадження нових технологій та інформаційних систем, стимулювання некосмічних галузей економіки, вирішення глобальних завдань та інших, головним чином, непрямих ефектів. Тим часом, якщо з'ясувати, чи дійсно впровадження, наприклад, медичних методик діагностики здоров'я космонавтів може окупити відповідний розділ місячної програми, то відповідь буде негативною. Тоді чому десяток країн вкладають бюджетні кошти у довгострокову програму освоєння Місяця? Відповідь на це питання у загальному вигляді мають управлінці, які прогнозують довготривалі економічні перспективи.

Популярно цю проблему аналізує Е. Райперт в економічному бестселері «Як багаті країни стали багатими, і чому бідні країни залишаються бідними» [2]. Резюме його роздумів, що базуються, у тому числі, на положеннях еволюційної економічної теорії Й. Шумпеттера [3] і працях К. Перес (зокрема [4]), зводиться до такого. Багатство розвинених країн зумовлено тим, що тривалий час (десятиліттями і століттями) панівна еліта засновувала, субсидувала та захищала динамічні галузі промисловості і послуг, тобто виробничі структури у галузях, де був сконцентрований технологічний прогрес. Отже, економічне зростання пов'язувалось із певними видами економічної діяльності, де може виникнути спільний продукт розподілу праці, збільшеною віддачею

ТАБЛИЦЯ 4.1. **Техніко-економічні парадигми в історії людства [2]**

Період, роки	Назва періоду	Важливі галузі	Недорогий ресурс	Інфраструктура
1770—1840	Рання механізація	Тканини. Вовна	Енергія води. Бавовна	Канали. Дороги
1830—1890	Парові двигуни та залізниці	Залізо. Транспортні перевезення	Пара. Вугілля	Залізниці. Пароплави
1880—1940	Електрика та важка промисловість	Електричні машини. Хімічна промисловість	Електрика. Сталь	Кораблі. Дороги
1930—1990	Масове виробництво (фордизм)	Автомобілі. Синтетичні матеріали	Нафта	Дороги, літаки, кабельні лінії
1990	Інформація та комунікації	Цифрові технології/комп'ютерні програми. Біотехнології	Мікроелектроніка	Цифровий зв'язок. Супутники

(зменшення витрат виробництва), синергією (люди різних професій працюють спільно) та новими знаннями. Виникнення такого продукту зумовлено головною рушійною силою економічного зростання — інноваціями та винаходами, що створюють попит на інвестиційний капітал. У певні моменти великі інноваційні хвилі порушують однорідність технологічного розвитку і створюють технологічні прориви (їх називають зміною техніко-економічної парадигми). У табл. 4.1 наведено схему таких проривів в історії людства (з праці [2]), де сучасний етап пов'язується з інформаційно-комунікаційними технологіями та космосом. Важливо вказати, що зміна парадигми призводить не тільки до вибухоподібного збільшення продуктивності праці, а й до зміни самого суспільства поза тією галуззю, яку називають економікою. Може змінитися розташування сил у світі, політичний устрій, якість життя громадян, ставлення до суспільних інститутів.

Фундаментальне положення про те, що в основі успішного економічного розвитку лежать інновації і технологічний прогрес у певних галузях, продукує питання щодо вибору економічної стратегії. Повернемося до логіки Е. Райперта. Якщо плем'я, що живе за річкою, перейшло із кам'яної доби у бронзову, то перед плем'ям стоїть питання: дотримуватися досягнутих переваг кам'яної доби чи переймати досвід сусідів і переходити у бронзову? Успішною стратегією, як свідчить досвід, виявилося запозичення (Е. Райперт застосовує термін «емуляція») прогресивної системи з метою

зрівнятися з нею або перевершити її. Нагадаємо у зв'язку з цим одне із базових положень космічної політики ЄС, яке полягає у створенні умов для успіху в технологічних змаганнях зі США.

Від розуміння загальних тенденцій до вироблення власної стратегії — величезна дистанція, тим більше, що власного досвіду в України практично немає. Тому деякі міркування та висновки з аналізування економіки КД інших країн можуть виявитися недаремними. Зупинимось коротко на тих, які автору видаються релевантними.

4.2. Деякі економічні характеристики сучасної космічної діяльності

У документі Міжнародної організації економічного розвитку OECD космічну економіку визначено «як всю діяльність (включаючи використання ресурсів), яка пов'язана зі створенням та забезпеченням економічних цінностей і вигоди для людей у процесі дослідження та використання космосу». До космічної економіки належать «усі державні і приватні суб'єкти, які беруть участь у розробці та використанні пов'язаних із космосом продуктів і послуг, починаючи з досліджень і розробок, створення і використання космічної техніки (наземна інфраструктура, ракети-носії, КА) та закінчуючи прикладними засобами (навігаційне і телекомунікаційне обладнання, метеорологічні засоби тощо), а також науковими знаннями, отриманими в результаті такої діяльності» [5].

Таке формулювання означає, що космічна економіка виходить за рамки власне космічного сектору як виду діяльності, оскільки вона має здатність впливати на економіку та суспільство у цілому. Тому оцінка економічних характеристик КД істотно різниться у різних джерелах залежно від того, які «навколокосмічні» сфери розглядаються. Ще одна складність обліку саме космічної продукції та послуг полягає в тому, що багато компаній створюють продукцію, яка використовується у різних застосуваннях (наприклад в електроніці), і виділити в ній власне «космічну» складову проблематично. Це істотний нюанс, однак він мало впливає на завдання нашого розгляду та подальші висновки. Тому нижче наведено декілька характерних цифр із найцитованіших джерел [5—9].

Стан космічного сектору економіки відстежується кількома організаціями (Space Foundation [8], OECD [5, 7]), які періодич-

но публікують загальнодоступні звіти. Найдетальніший аналіз публікує фірма EUROCONSULT [9], а також міжнародні та національні дослідницькі організації (зокрема Інститут космічної політики ESPI [10, 11], Лондонська школа економіки [12]).

2017 року глобальний обсяг космічної економіки перевищив суму $ 348 млрд (за даними Satellite Industry Association (SIA), *цит.* за [13]), 2016-го — $ 329 млрд (за даними Space Foundation [8, 14]); за останні десять років цей обсяг збільшується стійкими темпами у середньому до 7 % на рік.

За даними [15] усього в космічну діяльність з початку космічної ери до 1995 року інвестовано $ 100 млрд, у наступні 3 роки — до $ 150 млрд. Водночас у 2013—2016 роках темпи зростання істотно знизилися: у 2013 році — $ 256 млрд, у 2015 році — $ 323 млрд, у 2016 — $ 329 млрд [13]. Комерційний сектор в останні роки становив до 3/4 космічного ринку (76 % або 253 млрд у 2016 році). Спостерігається постійне зростання індексів економічного розвитку [8] (саме існування таких індексів свідчить про економічну значущість космічної індустрії).

Найбільший внесок у глобальну космічну економіку зробили США: урядові витрати 2016 року становили 44 млрд на військові та цивільні програми (приблизно 0,3 % ВВП) (рис. 4.1, 4.2).

Згідно з даними дослідження «Євроконсалт» [9] космічні програми реалізують близько 40 країн; понад 80 держав мають власні супутники на орбіті. У період 2006—2016 років з'явилося 25 держав, що активно використовують космічні технології (закупівлі для потреб власної економіки супутників дистанційного зондування Землі та зв'язку).

Прогнозується зростання кількості таких країн-споживачів до 45 в 2025 році. Урядові витрати на мирне освоєння космосу 2017 року становили $ 14,6 млрд, що на 6 % більше порівняно із 2016 роком. 15 провідних національних космічних програм забезпечують ці інвестиції, причому 74 % від загальної суми вносить уряд США. До 2027 року ці витрати прогнозуються в обсязі понад $ 20 млрд [7, 9].

За основними секторами загальний обсяг виробництва у космічній сфері у 2013 році розподілявся таким чином:

- виробництво космічної техніки (включно із пусковими послугами) — 33 % ($ 85 млрд);
- послуги споживачам — 58 % ($ 150 млрд);
- послуги операторів космічних систем — 13 % ($ 21,6 млрд).

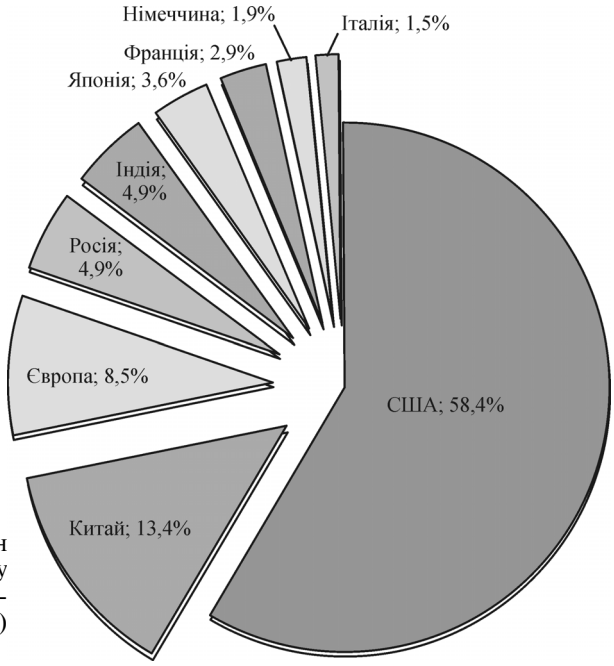

Рис. 4.1. Частка країн і регіонів у загальному обсязі космічного бюджету (2016—2017 роки) [14]

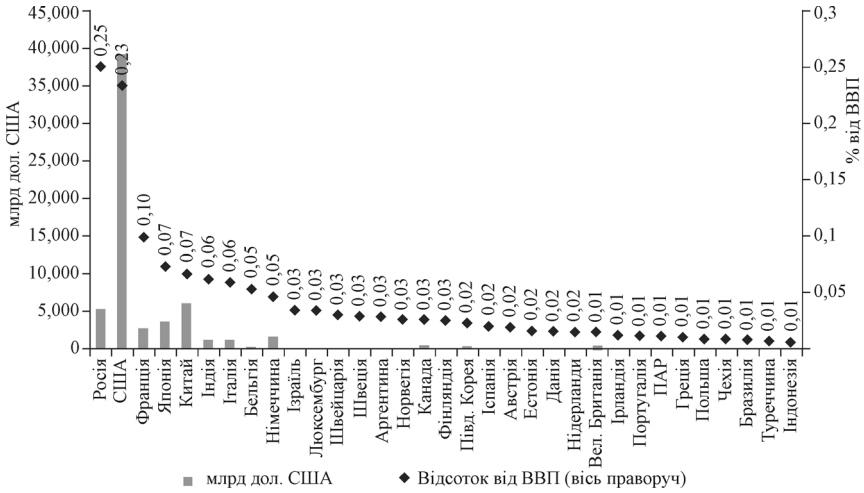

Рис. 4.2. Космічний бюджет і його частка у ВВП різних країн, 2013 рік [6]

2013 року в космічній галузі усього світу працювало до 900 тис. співробітників.

Сучасний міжнародний космічний ринок добре розвинений і структурований. На ньому сформувалися кілька ключових сегментів, серед яких виокремимо такі:

• високобюджетні державні програми військового використання космосу, пілотовані польоти і сформований інститут наукових і підрядних організацій;

• швидко збільшувана індустрія супутників цивільного та подвійного призначення, перш за все у галузі широкосмугового мовлення, навігації та дистанційного зондування (понад 75 % ринку);

• фінансові послуги зі страхування майна, космічних ризиків і особистого страхування учасників (перспектива цього сектору оцінюється експертами до $ 30 млрд [16]).

Перспективним має бути виробництво ракет-носіїв багаторазового використання різної вантажопідйомності і нові рішення з доставляння та повернення вантажів.

Незважаючи на стійкі темпи зростання, значимість космічної економіки порівняно із провідними галузями (електроніка, металургія, біотехнології, машинобудування) поки невелика. Так, обсяги реалізації продукції авіаційної галузі в 2018 році становлять не менше $ 1 трлн [13]. Однак за умови стабільних темпів зростання космічної економіки можна прогнозувати її помітний внесок у світову економіку вже через 15—20 років. Оптимістичні прогнози декількох аналітичних центрів пророкують такі сценарії. У рамках медіанного прогнозу банківського холдингу Morgan Stanley до 2040 року сукупні середньорічні темпи зростання повинні потроїтися, а обсяг космічної економіки перевищити $ 1,1 трлн [17].

У свою чергу, за оцінкою інвестиційного банку Bank of America Merrill Lynch і United Launch Alliance освоєння космічного простору між Землею та Місяцем, включаючи видобуток корисних копалин, виробництво компонентів палива для кріогенних ракетних двигунів, експорт сировини з поверхні Місяця, розгортання постійної колонії до 1000 чоловік і організацію великомасштабного виробництва, здатне довести обсяги космічної економіки до 2045 року до $ 2,7 трлн [18].

Ці оптимістичні прогнози засновані на сценаріях швидкого зростання нових напрямів космічної гонки. Менш оптимістична оцінка перспектив зростання космічної економіки враховує ту

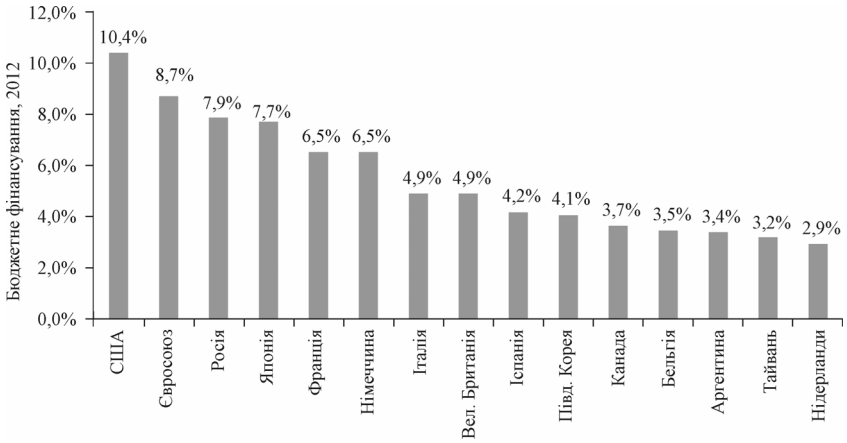

Рис. 4.3. Державне фінансування НДДКР з космічної тематики різними країнами (у % від загального бюджету НДДКР, 2012 рік) [12]

обставину, що на сьогодні частка фінансування від загального обороту галузі, яку направляють на дослідження та розробки (рис. 4.3), у космічному секторі суттєво нижче за аналогічні показники в інших високотехнологічних галузях (зокрема біотехнології) [13]. Тому в найближчі два десятиліття зростання продукції та сервісів пов'язується не стільки з новими космічними технологіями (такими як двигунобудування), скільки з новими розробками, запозиченими з інших сфер (наприклад нанотехнології).

Загальне зростання показників критично залежить від темпів комерціалізації космічної діяльності. На думку автора огляду [16], у найближчі роки зростання бюджетних вкладень у космічну економіку може збільшитись удвічі, водночас їхня частка у загальних витратах не перевищить 20 %. Автор праці [16] вважає, що у даний час закінчилася четверта хвиля підйому космічної діяльності, обумовлена зростанням попиту цивільного і військового секторів на інформаційні послуги, зокрема GPS. Наступна п'ята хвиля, вочевидь, буде зумовлена збільшенням попиту, в основному, у недержавному секторі на послуги телекомунікацій, навігації та спостереження Землі.

4.3. «Новий космос» та інноваційний потенціал космічної діяльності

Приблизно з 2000 року спостерігається знакове явище у глобальній космічної економіці: витрати приватного сектору перевищили державні витрати. На тепер зростання космічної індустрії визначається, головним чином, комерційним сектором, який має оборот удвічі більший за державний. Цей ефект характерний найперше для США, де швидкими темпами розвиваються супутникове телебачення, інтернет-сервіси та деякі інші послуги, що надаються усе більшій кількості пересічних споживачів.

Згідно із Директивою президента США Б. Обами комерційний сектор КД — це «...космічні товари, послуги або інша діяльність підприємств приватного сектору, який несе вагому частину інвестиційного ризику, діє з використанням типових ринкових стимулів для контролю витрат і оптимізації віддачі від інвестицій і має правоздатність пропонувати ці товари або послуги наявним або потенційним неурядовим клієнтам» (*цит.* за [16]).

Якщо розглядати космічну економіку з точки зору системи національних компаній-лідерів у комерційному секторі, то картина значно відрізняється від тієї, яка наведена на діаграмі (див. рис. 4.1). США у цьому рейтингу зберігають місце лідера, але далі є зміни: до першої п'ятірки входять Франція, Велика Британія, Японія та Німеччина. Китай на 10-му місці, а Росія випадає зі списку. Це відбувається тому, що сьогодні бюджетні витрати формують лише четверту частину ринку. Різниця між «старим» і «новим» космосом набуває видимого обрису.

З точки зору структури інвестицій, «старий космос» — це космічна індустрія, в якій домінують державні агентства і бюджетні кошти, а «новий космос» — бізнес, орієнтований на потреби споживачів, де пріоритетом є зниження цін і випуск товарів і послуг у підприємницькому дусі. У ході конференції з проблем «нового космосу» (червень 2018 року) [13] відбулася дискусія про те, яка сфера стане визначальною у розвитку космічної економіки. Один зі сценаріїв передбачає головним рушійним фактором комерційні польоти в космос. Інший — збільшення прикладних послуг, таких як дистанційне зондування. І хоча зараз «новий космос» не видається цілком зрозумілою сферою, заповненою, зокрема, несподіваними технологічними стартапами, його майбутнє, без сумніву, вплине на вигляд КД у найближчі роки.

Його основу складають три великі галузі: 1) комерційні замовлення на створення та запуски супутників (включно із підтримкою інфраструктури); 2) послуги операторів супутникового зв'язку та моніторингу, а також пов'язані з ними користувацькі сервіси і додатки, що надаються на комерційних засадах; 3) послуги та обладнання супутникової навігації. Капіталомісткість і складність проектів зумовлюють високий рівень консолідації комерційного космічного сектору, де діють великі вертикально інтегровані корпорації, як правило, транснаціональні. Так, на компанії першої четвірки ринку фіксованого супутникового зв'язку (Intelsat, SES Global, Eutelsat і Telesat) припадає понад 40 % обороту даної галузі (*цит.* за [19]). А в секторі комерційних космічних знімків не менше третини становить частка лідера ринку — американської компанії DigitalGlobe. При цьому, якщо на початкових етапах розвиток нових космічних компаній підтримувався переважно за рахунок окремих приватних інвесторів (як у випадку із компаніями Blue Origin або SpaceX) і державних грантів, то останнім часом усе більшу роль починають відігравати венчурні фонди. У 2011—2015 роках на їхню частку припало більше третини вкладень ($ 2,3 млрд). Для порівняння, за той же період гранти та інвестиції становили $ 328 млн. Тільки за 2015 рік було залучено рекордний обсяг коштів — $ 1,8 млрд, що можна порівняти з інвестиціями в сектор медичної техніки, яка входить до десяти найпривабливіших галузей для венчурних інвесторів ($ 2,6 млрд у 2014 році) [19].

Проблему комерціалізації КД навряд чи справедливо розглядати як поступову заміну «старого» космосу на «новий». Існує поширене порівняння сучасної космонавтики з авіацією початку XX століття: прихід приватного капіталу в організацію поштових, а потім і пасажирських перевезень ознаменував народження нової галузі економіки. У космонавтиці за багатьма ознаками цей процес складніший і суперечливіший, із серйозними обмеженнями, причому ключову роль відіграє державна політика. Згадаємо знакові державні рішення, що стимулювали комерційний космос. Відмова уряду США від вибіркової доступності сигналів GPS (діяла до 2000 року) різко збільшила кількість комерційних користувачів (співвідношення комерційних і військових користувачів швидко досягло приблизно 100: 1). У 2015 році ЄКА розпочало політику безкоштовного надання даних дистанційного зондування супутників Santinel; у результаті значно зросли дохо-

ди компаній (і відрахування до бюджету), які надають на основі цих даних інформаційні послуги кінцевим користувачам. Сучасні тренди комерціалізації КД багато в чому пояснюються тим, що комерціалізація виявилася вигідною США, оскільки їхня роль на світових космічних ринках стала панівною. Очевидно, найближчим часом буде превалювати такий механізм комерціалізації, коли держави передають розроблені за бюджетні кошти технології до комерційного сектору.

Політика комерціалізації космічної економіки стикається із цілком зрозумілими труднощами. Основні ризики розвитку космічної економіки добре відомі: високий рівень початкових капітальних вкладень в об'єкти наземної інфраструктури і виробництва, низька або нульова прибутковість більшості проектів, ризики безповоротної втрати створених об'єктів тощо. Існують і чисто технологічні обмеження розвитку комерційної КД. Наведемо деякі з них, використовуючи думки різних експертів. По-перше, наявні у світі потужності дають змогу забезпечити до 140 пусків РН на рік, а потреби на сьогодні майже удвічі менші. По-друге, спостерігається критична щільність низьких орбіт: їхнє подальше насичення може перевищити природне очищення внаслідок згорання в атмосфері. По-третє, як тільки космічні технології почали використовуватися в інтересах широкого кола споживачів, до гри долучилась конкуренція. Так, у галузі телекомунікацій у 1980-х роках супутники забезпечували удесятеро більший обсяг трафіку за ціною 0,1 від вартості підводного кабелю; з 2003 року оптико-волоконний кабель дає таку ж ємність, як і супутник. У галузі ДЗЗ використання GPS зробило доступними аероспостереження, тому попит на інформацію ДЗЗ оцінюється набагато нижче, ніж раніше. Загалом, якщо порівняти оцінки комерційних секторів 2006 і 2017 років за даними Space Foundation [6], можна виявити суттєве (в рази) перевищення очікуваних обсягів інвестицій і фактично реалізованих. До цього списку можна додати невдалу програму комерціалізації робіт на Міжнародній космічній станції та нереалістичність планів передачі МКС для комерційного використання після 2020 року.

Проте, виходячи з деяких тенденцій (особливо у США), потенційні інвестиційні можливості космічної економіки на сьогодні починають перевищувати зазначені ризики. Наприклад, за період 2000—2017 років у космічні стартапи було інвестовано понад $ 16 млрд, причому 2/3 цієї суми — за останні п'ять років.

У 2016 році в Сполученому Королівстві була створена перша приватна венчурна група фондів Seraphim Capital, яка інвестує виключно в проекти із розвитку космічної екосистеми [20].

У праці [19] зазначається, що розвиток комерційного космічного сектору у 2006—2015 роках загалом характеризується стабільною кон'юнктурою і перспективами зростання. Space Foundation [6] прогнозує подвоєння його обсягу та подальше збільшення його частки до 2024 року до $ 516 млрд і 86 %. Водночас, незважаючи на загальний висхідний тренд, динаміка за окремими напрямами є нерівномірною. Базовою галуззю є системи фіксованого та рухомого супутникового зв'язку — 2016 року на них припадала половина від складу наявного світового орбітального угруповання, причому понад 2/3 належить комерційним операторам [19].

Критичне значення для приходу приватного капіталу в космічну діяльність має вартість виведення корисних вантажів у космос. Ресурси Сонячної системи увійдуть до сфери реальної економіки у разі забезпечення дешевого та надійного доступу до космосу. У США група експертів висунула ідею реалізації такої ініціативи — CRATS (Cheap & Reliable Access to Space). Вони вважають, що шлях створення і виконання великих державних програм, як і підтримка функціонування вільного ринку (laissez-faire), не вирішить цієї проблеми. Пропонувалося підтримувати не тематичні напрями діяльності, а промисловість, яка здатна вирішити технологічну проблему: Solutions not Programs або Build an Industry, Not a Program. Прикладом такої проблеми можна вважати систему транспортних засобів або аерокосмічного літака.

Зазначимо, що проблема комерціалізації займає одне із центральних місць у національній космічній політиці США та Європи. Спостерігається зростання залучення бізнесу у дослідження та розробки за державними програмами, а також зростання обсягу технологій, переданих до приватного сектору. Ця стратегія допомагає підвищити ефективність реалізації проектів у проривних, високоризикових напрямах, а також завдяки активізації обміну знаннями та ресурсами сприяє зміцненню технологічного потенціалу та прискоренню процесу створення подвійних інновацій (із високим комерційним потенціалом). Реагуючи на зміни внутрішнього середовища світової космічної діяльності (технологічні зрушення, зростання потенціалу комерційних гравців), концепція комерціалізації в США та Європі еволюціонує від

вертикальної до розподіленої, горизонтальної, що спирається на розгалужену мережу учасників і об'єднує в собі усі сектори: інституціональний, промисловий та академічний [19].

4.4. Прямий вплив непрямих ефектів

Проблема підвищення ефективності та розвиток «нового космосу» не зводиться до залучення приватного капіталу (відомо, наприклад, що фінансування космічних проектів Ілона Маска на 70 % забезпечується бюджетом НАСА). Головний ефект розвитку приватної ініціативи у космічних проектах — інноваційний розвиток космічних технологій і застосування в інтересах усіх можливих споживачів. Можна виділити три типи інновацій, що по-різному впливають на різні сектори економіки. По-перше, інновації в космічному секторі, які принципово розширюють можливості космічних засобів. Найхарактерніший приклад — розробка системи багаторазового використання ступенів РН, що знижує у перспективі вартість запуску на 10—15 %. Відомі також деякі організаційні та керівні рішення (застосування некосмічних розробок, нові підходи до контролю якості). По-друге, істотне розширення можливостей наявних сфер діяльності (телекомунікації, метеорологія, астрономія та астрофізика). По-третє, поява принципово нових технологій і методів (космічне спостереження, навігація).

Основним фактором впливу космічних інновацій на економіку у цілому є трансфер технологій або механізм spin-off, який останнім часом активно аналізується з точки зору економічної ефективності космічних програм. Про це детальніше викладено у розділі 7 (і літературних посиланнях). Тут коротко зупинимось на механізмах впливу spin-off на економіку. Цей термін часто розуміється як технологія, розроблена в рамках космічних програм і використана у некосмічній діяльності. Поширення цієї практики за рахунок продажу товарів і послуг, покупки ліцензій, технічної або наукової документації становить основу довгострокового економічного впливу космічних програм. У ширшому сенсі термін spin-off охоплює всі способи, якими продукція, отримана у ході однієї діяльності, у даному випадку космічної програми, використовується в іншій сфері. Тобто йдеться не тільки про передачу технологій; упровадження нових методів керування, зміну організаційних структур, зміцнення співпраці між фір-

мами, використання роботи в космічних додатках як маркетинговий досвід, ноу-хау також варто розглядати як ефекти spin-off.

Згідно з підходом, що розвивається дослідницькою групою B.E.T.A. ([20, 21] та їхні подальші публікації), розрізняють чотири категорії ефектів: технологічні, комерційні, управлінські та ефекти робочого фактора.

Технологічні ефекти. Це класичні spin-off, про які йшлося вище. Фундаментальна, а тим більше прикладна дослідницька робота, що проводиться у рамках космічних програм, породжує технологічні інновації, що призводять до появи нових поколінь продуктів і підсистем, які згодом використовуються іншими космічними програмами та іншими галузями промисловості, у результаті чого створюються нові продукти, що призводять до диверсифікації діяльності та поліпшення характеристик (якість, продуктивність) наявних сервісів та виробів.

Комерційні ефекти, в основному, зводяться до збільшення продажів продуктів або послуг, які не охоплюють значних технологічних інновацій. Підрядники космічних агентств можуть скористатися новими ринками, які відкриваються після космічних програм, наприклад, на національному рівні (такі як наземні станції керування). Крім того, фірма набуває нового іміджу, пов'язаного із космічною діяльністю, що створює значні конкурентні можливості. На комерційному рівні програми ЄКА більше за інші програми дозволяють компаніям-підрядникам налагоджувати тісніші ділові зв'язки, які потім поширюються на замовлення поза рамками космічних агентств.

Вплив на організацію і методи керування. Ще один важливий внесок космічних програм полягає у нововведеннях в управлінських і виробничих методах, контролі якості, організації виробництва й керуванні проектами. Ці нововведення зумовлені високими стандартами, що задаються специфікаціями і характеристиками космічного простору (принцип нульової помилки у ворожому середовищі). Ці впливи також є наслідком особливої форми промислової кооперації, створеної для космічних програм, яка об'єднує на різних рівнях відповідальності фірми, що працюють у різних галузях промисловості.

Кваліфікаційні ефекти. Економічні ефекти, зумовлені програмами ЄКА, значною мірою пов'язані з персоналом. Космічні підрозділи — це навчальні полігони для персоналу і керівників. Висока кваліфікація та навички, набуті у космічних програмах,

часто використовуються в підрозділах компаній, які не займаються безпосередньо космічною діяльністю. У деяких фірмах космічні програми стимулюють створення і розвиток структурованих груп фахівців, учених, інженерів і техніків, які становлять те, що можна назвати «критичною масою» фірми та використовувати для розробки усе складніших систем для різних секторів промисловості.

У літературних джерелах є численні приклади успішного використання космічних розробок у різних галузях і для різних категорій споживачів: штрих-коди для маркування продуктів і кросівки (розроблені під час виконання програми АПОЛОН), тефлон, програмовані імплантовані системи, контролери потужності двигунів, лазерні технології керування процесами різання та зварювання, лікарські засоби тощо. Існують також управлінські та кадрові рішення, які впроваджені у високотехнологічні галузі промисловості (атомну енергетику, транспорт, нафтогазову галузь). На сайтах космічних агентств і в документах космічної політики такі розділи є обов'язковими. Проривні технологічні рішення знаходяться у центрі промислової політики тих країн, які розглядають космічні програми як рушійну силу розвитку економіки. Такі програми у різні роки реалізовували США (TU NASA Program), з початку 2000-х років ініціює ЄКА через пілотні проекти, вони підтримуються у Франції (створення спеціалізованої компанії NOVESPACE) і деяких інших країнах. Однак необхідно визнати, що оцінювання впливу прямих і непрямих ефектів від космічних проектів на економіку в цілому далеко від достовірності. На підставі багатьох дослідницьких робіт стосовно даної теми може скластися враження, що економічним виправданням космічних програм є непрямий вплив — spin-off, або що космічний сектор розглядають як розробника нових технологій, які згодом використовуються в інших галузях економіки [16]. Насправді суттєвим виявляється і зворотний процес, коли космічна індустрія розробляє та удосконалює технології, створені в інших місцях, — spin-in. Це свідчить про те, що ефективність космічної галузі варто розглядати з точки зору її взаємодоповнюваності й інтерактивності з іншими секторами, а не з точки зору впливу, що виправдовує космічні програми. Вирішення цієї складної проблеми вбачається у розвитку сучасної еволюційної економіки (див. [3] та ін.) й у розробці адекватної моделі інновацій, яка у сучасній економіці стає істотно нелінійною [21].

Відомі кілька масштабних досліджень економічної ефективності великих космічних проектів, виконаних різними групами

дослідників. Одному з них присвячена згадувана вище робота групи В.Е.Т.А. [20]. У ній на основі детальних інтерв'ю із менеджерами різних рангів визначалися ефекти від великих проектів ЄКА (при цьому, наскільки можна зрозуміти з описаної методики, не розділялися прямі та непрямі ефекти). Встановлено істотну економічну вигоду за умови розгляду ефективності протягом тривалого часу після закінчення проекту. Часто цитується результат дослідження програм НАСА протягом 1950—1969 років, згідно з яким до 1987 року 1 вкладений долар дав 7 доларів збільшення ВВП США. Прогнозна ефективність європейської програми спостереження Землі COPERNICUS (дослідження виконано на замовлення Єврокомісії ([1], розділ 7])) виявилася в інтервалі значень ефективності (відношення доходів до витрат) від 1,9 до 5,4, залежно від умов стану економіки, що закладалися. Ці та деякі інші позитивні оцінки ефективності космічних програм є характерними для США (більшою мірою) та Європи, де розвинені аерокосмічний сектор і трансфер технологій внаслідок коопераційних зв'язків. Для інших космічних держав ефект трансферу технологій значно менший, тому цікаво детальніше роздивитися їхню економічну мотивацію й особливості еволюції космічних програм.

4.5. Космічна економіка та державна політика: приклади деяких країн

Наведемо кілька коротких характеристик космічної економіки країн, які мають середній рівень обороту космічної галузі, тобто у межах 0,01 % ВВП (див. рис. 4.2). (Виняток становить Індія, яка активно нарощує космічний потенціал (0,06 % ВВП), але за більшістю показників до космічних грандів не належить). Ці країни не прагнуть до глобального домінування, а економічна віддача для них є безумовним пріоритетом. Вони викликають у нас великий інтерес з точки зору різних стартових умов і обраних стратегій космічної діяльності.

Індія

Країна, в якій четверта частина населення знаходиться нижче офіційного рівня бідності, швидко входить до числа головних гравців на космічних ринках. Уряд визначив космос основним

рушієм національного розвитку (поряд з ІКТ) на початку 60-х років минулого століття, і ця політика послідовно втілюється космічним агентством ISRO. З того часу бюджетні витрати на наукові дослідження і космос, зокрема, неперервно зростають, а космічна індустрія стає суттєвою складовою світової космічної економіки, у першу чергу у розробленні супутників. До 2018 року Індія мала угруповання з 10 супутників спостереження Землі, 9 телекомунікаційних, одного метеорологічного та одного наукового апаратів. Космічні програми розраховані на 3, 5 і 15 років і передбачають послідовний розвиток усіх сегментів космічної індустрії: дистанційне спостереження Землі, навігація, метеорологія, телекомунікації та засоби виведення. Однак характерною рисою є пріоритетність наукових програм. Серйозним успіхом була перша місячна місія Chandrayaan-1 (2008), за якою готується другий апарат Chandrayaan-2 (2019). Безпрецедентним успіхом стала перша марсіанська спроба в 2013 році (Mars Orbiter Mission, MOM). Запланована масштабна місія з вивчення Сонця Aditya-L1, а на 2022 рік заплановано перший пілотований політ, вартість якого оцінюється у $ 2 млрд.

Таким чином, Індія розвиває космічну економіку та виходить на міжнародні ринки, здійснюючи технологічне оновлення у рамках власних довгострокових дослідних і прикладних проектів. Головним інвестором виступає держава, водночас проводиться політика залучення іноземного капіталу (квоти на його залучення постійно підвищуються і становлять до 50 % у космічній галузі та 75 % для створення супутників). Понад 60 % бюджету космічних програм спрямовується у вигляді замовлення промисловим підприємствам. Постійно зростають витрати на дослідження (близько 1 % ВВП), що спричинило серйозне зниження застосування імпортних комплектувальних деталей з 30 до 20 % за останнє десятиліття.

Результати цієї політики мають очевидні економічні наслідки. Протягом останніх 10 років обсяг продажів аерокосмічної галузі зростає темпами, що випереджають зростання промисловості країни в цілому; зростання експорту аерокосмічної техніки — з $ 80 млн до $ 2,3 млрд, а виручка двох найбільших компанії Hindustan Aeronautics Ltd. (HAL) і Bharat Electronics Ltd. (BEL) збільшилась у 2,5 рази. Аналітики відзначають високу ефективність супутникових технологій і відносно низьку ціну

пускових послуг. До 2017 року Індія реалізувала пуски понад 50 КА для 20 країн, рекордні запуски одночасно 20 КА в 2016 році і 104 КА у 2017 році; у режимі повної експлуатації з 2016 року використовується важкий носій GSLV (Geosynchronous Satellite Launch Vehicle).

Індія демонструє унікальну траєкторію розвитку, яка країну третього світу виводить у лідери космонавтики. Хоча обсяги космічної галузі сьогодні значно нижчі за країни-гіганти (у тому числі Китай), Індія знаходиться на шляху оволодіння значною частиною світового космічного ринку. Виходячи із структури галузі, де головну роль відіграють державні підприємства, а частка приватного сектору невелика (точні дані недоступні), економічна віддача визначається такими ефектами, як розвиток інфраструктури та виробничих потужностей, залучення інвестицій, збільшення частки робочих місць, розвиток інноваційних технологій. При цьому доходи бюджету не можуть покриватися надходженнями від невеликого експорту, що збільшується повільно. Важко уявити, яку економічну віддачу дасть запланований пілотований політ вартістю близько $ 2 млрд. Якщо звернутися до обговорюваної вище (п. 4.1) стратегії успішного економічного розвитку, заснованого на інноваціях і винаходах, то Індія є яскравим утіленням стратегії «емуляції» або копіювання шляху, котрий пройшли розвиненіші країни. Іншими словами, бідна країна вкладає величезні кошти у галузь, яка не дає негайної економічної віддачі, але створює технологічні та інноваційні умови для подальшого стрибка.

Використана статистична інформація із джерел:

- https://www.dw.com/en/indias-space-agency-sets-its-sights-on-the-sun/a-43467972
- https://www.bbc.com/news/world-asia-india-40175268
- http://employmentnews.gov.in/newemp/MoreContentNew.aspx?n=Editorial&k=78 (Дата звернення 16.10.2018)

Велика Британія

Колишня метрополія демонструє абсолютно інший підхід до космічної стратегії, спрямований на максимально економічну віддачу у найкоротший час. «Наша нова національна стратегія націлена на те, щоб отримати з космосу максимум: дослідити

унікальні можливості зростання, які можуть принести космічні польоти і пов'язані з ними наукові програми», — заявив Девід Парк (David Parke), виконавчий директор космічного агентства Сполученого королівства UKSA. Слід зазначити, що політичні або престижні міркування не відіграють визначальної ролі, а головним стимулом активної участі Великої Британії (як і більшості європейських країн) у дослідженні та використанні космосу є можливість для своєї промисловості стати конкурентоспроможною відносно американської, причому не тільки в галузі ракетно-космічної промисловості, а й у найважливіших галузях (електроніка, оптика, ІКТ, конструкційні матеріали, хімія тощо), для яких космонавтика є потужним локомотивом.

Хоча Велика Британія однією з перших, відразу після СРСР і США, запустила штучний супутник Землі, у подальшому вона практично не розвивала ракетно-космічні технології (не рахуючи легкої ракети Black Arrow, яка використовувалась у чотирьох пусках, з яких лише два були успішними). Уряд не цікавився пілотованою космонавтикою (тільки двоє британців літали в космос як приватні особи), масштабними науковими місіями (активно беручи участь у проектах ЄКА на основі співпраці). Космічне агентство організовано тільки 2010 року, а до того космічну діяльність координував орган академічного рівня — Британський національний космічний центр (BNCS). На час створення UKSA космічна промисловість Великої Британії оцінювалась у 7 млрд £ і мала 60 000 робочих місць. У 20-річний план UKSA входить збільшення відповідно обсягу до 40 млрд £ і до 100 000 робочих місць, а також збільшення частки у світовій космічній промисловості з 6 до 10 %.

На сьогодні структура космічної економіки (понад 11 млрд £ загального обороту) виразно відображає пріоритети стратегії: 78 % обороту галузі становлять прикладні впровадження (в основному телемовлення — 61 %, 20 % — комунікації), 12 % — космічні операції і 8 % — виготовлення космічної техніки (переважно виготовлення КА — 60 %). При цьому загальний оборот галузі безперервно зростає з 1990 року (рис. 4.4) із середньорічним значенням 8,8 %.

У загальному обсязі світової космічної економіки внесок Великої Британії становив близько 8 % 2013 року, прогноз на найближчі роки віщував збільшення цієї цифри до 10 %. У цьому

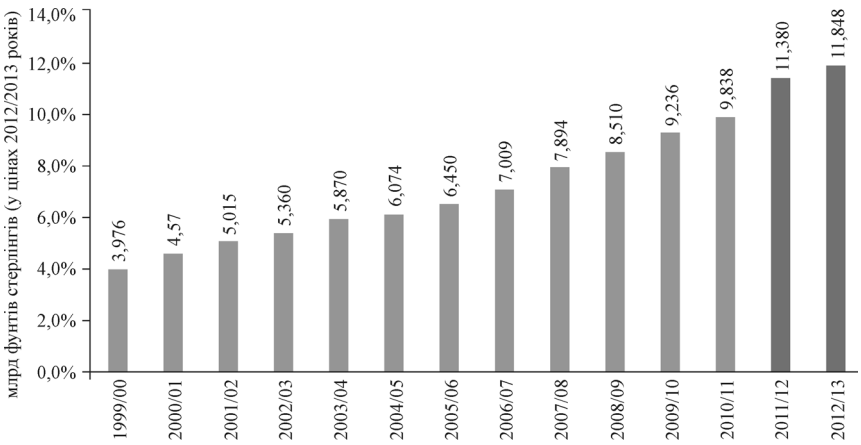

Рис. 4.4. Оборот космічної економіки Великої Британії, 1999/2000—2012/2013 роки

випадку космічна продукція становить 0,33 % від загального обороту британської економіки. Понад 31 % від обороту — експорт, що удвічі перевищує середній показник щодо економіки країни. Інвестиції держави в космічну індустрію становлять близько 300—400 млн £ (0,015 % ВВП) щорічно і призначені в основному для виконання міжнародних (ЄКА, Eumetsat) і національної програм (рис. 4.5).

Символом технологічного успіху британської космічної галузі став прогрес компанії SSTL (Surrey Satellite Technology Limited), яка з університетської лабораторії (1985 рік) перетворилася на світового лідера у виготовленні малих супутників (40 % світового обсягу експорту) і різного обладнання для телекомунікаційних і навігаційних місій. З 2000 року обсяг продажів неухильно зростає (20 % у рік), а її діяльність не залежить від державного бюджету. Загалом внесок космічної індустрії у ВВП країни становить 45 % від обороту галузі (близько 5 млрд £), а непрямі ефекти як на національному рівні, так і для груп зацікавлених користувачів високо оцінені аналітиками [12].

Британська модель космічної економіки демонструє найвищу економічну ефективність за порівняно невеликих державних витрат. Водночас забезпечується високий рівень наукових досліджень (фізика мікрогравітації, науки про життя, астрофізика, планетологія) й інженерних розробок для проектів національної програми та європейських космічних місій.

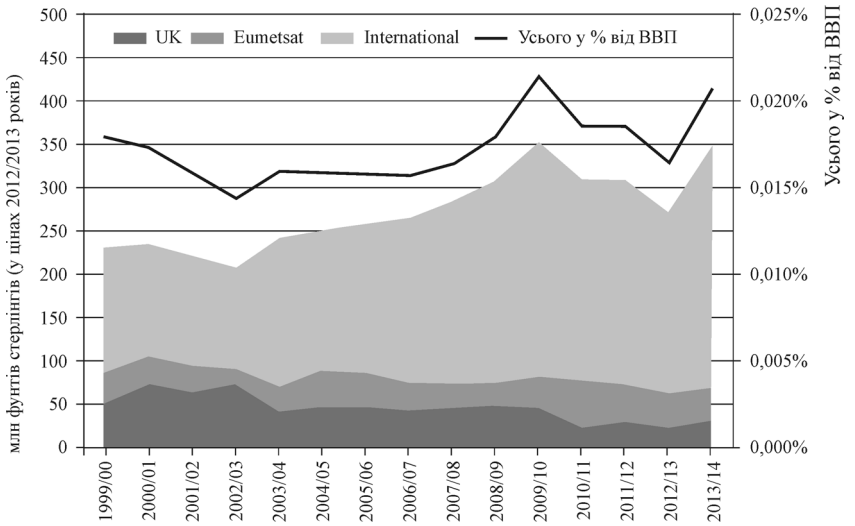

Рис. 4.5. Інвестиції уряду Великої Британії у космічну діяльність з 1999 до 2013/2014 років

Використана довідкова інформація із джерел:

- http://epizodsspace.airbase.ru/bibl/znan/1978/8/8-goldovs.html
- https://ecoruspace.me/
- The Case for Space 2015. The impact of space on the UK economy. FULL REPORT. A study for the Satellite Applications Catapult, Innovate UK, UKspace and the UK Space Agency. London economics, 2015 (http://www.ukspace.org/wp-content/uploads/2015/07/LE-Case-for-Space-2015-Full-Report.pdf) (Дата звернення 16.10.2018)

Ізраїль

Розвиток ізраїльського космічного сектору дає унікальний досвід переходу від вузькоорієнтованої програми (забезпечення безпеки) до формування повномасштабної космічної діяльності. Сьогодні Ізраїль є однією із семи країн, які створюють власні супутники (зв'язку «Амос», розвідувальні «Офек», детального спостереження EROS та ін.) і здатні їх запускати (триступенева твердопаливна ракета-носій «Шавіт», запускалася з 1988 до 2016 року десять разів).

Космічна програма Ізраїлю була розпочата у відповідь на потреби національної безпеки і характеризується триєдиною метою: 1) розвиток і підтримка самодостатності ключових технологій і впроваджень, важливих для стратегічних потреб; 2) захист оборонних засобів та інфраструктури; 3) забезпечення контролю космічного середовища. З огляду на обмеженість ресурсів країна застосувала прагматичний підхід до космічної сфери, розвиваючи ключові високоінтелектуальні засоби стримування, раннього попередження, розвідки. Космічна програма використовувала величезний досвід у створенні та бойовому застосуванні ракетної техніки: країна є одним із світових лідерів, розробляючи практично увесь спектр ракетної зброї — від тактичних ракет наземного, морського і повітряного базування до балістичних ракет типу «Єрихон», здатних нести боєголовки на відстані до семи з половиною тисяч кілометрів. Саме вони стали прообразом ракет-носіїв ізраїльських космічних апаратів.

З 1990-х років Ізраїль забезпечив регіональне домінування у найважливіших для власної стратегії галузях: спостереження Землі (малі супутники, електронно-оптичні засоби із високою роздільною здатністю і радари із синтезованою апертурою), можливість запусків на низькі навколоземні орбіти, а також зв'язок. У сфері інтелектуальних технологій Ізраїль володіє великою автономією і не залежить від іноземних джерел. Особливості космічної програми визначені високотехнологічними розробками та мікромініатюризацією усіх систем, що створює пріоритет якості космічних засобів над їх кількістю. Ця стратегія, що забезпечила перевагу над противником в оборонній сфері, була взята за основу подальшого розвитку космічних програм.

Важливі досягнення в галузі створення унікальних платформ для супутників масою 250—400 кг допомогли країні вийти на міжнародні ринки й істотно розширити тематику космічних проектів, які наразі охоплюють фундаментальну науку та екологічний моніторинг (останній приклад — KA Venus, створений спільно із французьким космічним агентством CNES (2017 р.), вирішує завдання екологічного моніторингу та точного землеробства).

Станом на 2018 рік країна має 10 космічних апаратів на орбіті й істотно розширює спектр космічної присутності, хоча не має навігаційних або метеорологічних систем і пілотованих мі-

сій. У 1990-х роках Ізраїль почав активну комерціалізацію космічної діяльності. Розвиток космічної індустрії базується на можливостях ринку високих технологій і венчурного капіталу Ізраїлю, які характеризуються низькою часткою участі уряду. Величезну роль відіграють багатонаціональні високотехнологічні компанії (у тому числі Intel, Google, Apple і Microsoft), які контролюють понад 250 ізраїльських дослідних центрів і мають у штаті 24 000 співробітників. З точки зору інвестиційного клімату у категорії захисту прав інвесторів Ізраїль, за даними Світового банку, на п'ятому місці після США, Канади, Ірландії та перед Великою Британією.

Продукція ВПК формує від 3 до 10 % ВВП країни. Обсяг ізраїльського експорту озброєнь і військової техніки становить понад $ 6,5 млрд на рік; за різними оцінками у 2009—2013 роках у світовому рейтингу експортерів озброєнь Ізраїль займав 4—10 місця, жодного разу не залишивши першої десятки. Космічний бюджет Ізраїлю, виражений у частці ВВП, є десятим за величиною у світі.

На сьогодні Ізраїль стоїть перед вибором. Щоб використовувати досягнення високих космічних технологій для подальшого економічного зростання, потрібно істотно збільшити бюджетне фінансування галузі (за даними керівника космічного агентства від 70—85 млн шекелів у 2018 році до 300 млн шекелів). Спеціальна парламентська комісія, створена для вивчення ситуації в космічній сфері (2015 р.), визначила поточний стан як кризовий і виробила рекомендації. Таким чином, економічна модель ізраїльського космосу найближчим часом буде суттєво переглядатися.

Використана статистична інформація із джерел:

• Paikowsky D., Ben-Israel I., and Azoulay T. Israel's perspectives on space security. Handbook of Space Security, Springer Science + Business Media New York 2015. DOI 10.1007 / 978-1-4614-2029-3_17 (https://www.researchgate.net/publication/281835258_)

• Інноваційна екосистема Ізраїлю. Можливості російсько-ізраїльського співробітництва (https://www.rvc.ru/upload/iblock/f51/201310_Israeli_RU.pdf)

• http://ratner.biz/proizvedeniya/politicheskaya-istoriya/87-vsjo-svojo-voennaya-promyshlennost-izrailya.html

• Out of This World: Israel's Space Program (http://mfa.gov.il/MFA_Graphics/MFA%20Gallery/Israel60/ch7-6.pdf) (Дата звернення 16.10.2018)

Туреччина

Туреччина — молода космічна держава, яка претендує на створення потужного космічного сектору економіки. Шлях, який має намір пройти країна, якісно нагадує ізраїльський, хоча Туреччина стартувала набагато пізніше. Наміри керівництва стали очевидними після оголошення прем'єр-міністром Б. Йилдиримом у 2017 році про створення космічного агентства, а також стосовно майбутніх планів підготовки астронавтів для власної космічної станції (орієнтовна вартість проекту — $ 6 млрд). Серйозність планів засвідчують результати космічних зусиль країни у попередні роки: запущені супутник спостереження Землі середньої роздільної здатності Göktürk-1 (2012 рік, роздільна здатність 2,5 м, внесок Туреччини становив 20 %), розвідувальний апарат Göktürk-2 (2016 рік); 2014 року завершено будівництво космічної бази, призначеної для складання та випробувань одночасно декількох космічних апаратів; до 2020 року Туреччина розраховує закінчити розроблення та виробництво повністю вітчизняного супутника зв'язку; ведеться розроблення супутника спостереження із роздільною здатністю не менше 0,5 м; розробляються плани створення власного стартового комплексу.

Туреччина різко нарощує потенціал аерокосмічної промисловості у прагненні стати глобальним гравцем, який має технологічну перевагу в цьому секторі. Один із прикладів сучасних досягнень — розроблення крилатої ракети класу «повітря-земля» для F-35 у співпраці із Локхід Мартін. Триває робота із синхронізації трьох напрямів розвитку аерокосмічної сфери: створення національної системи ППО / ПРО, розроблення ракет далекого радіуса дії та будівництво першого в країні стартового майданчика для запуску штучних супутників Землі.

Космічне агентство, яке знаходиться під цивільним контролем, зосереджено на скороченні залежності від іноземних технологій і напрацюванні власної технологічної політики в космічній та авіаційній галузях. Воно також координуватиме роботу зі створення космічних платформ, пускових установок і систем, роз-

роблення, інтеграції, запуску та експлуатації аерокосмічних систем. У турецького космічного агентства буде дозвіл на створення компаній в країні або за кордоном, покупку акцій наявних компаній або їх придбання.

За оцінками аналітиків, нині Туреччина має 25 % потужностей, необхідних для розроблення та виробництва власної супутникової системи, і планує у найближчі роки збільшити цю частку до 65 %. Керівництво також прагне забезпечити розроблення засобів в інтересах оборони, розвідки та раннього попередження про загрози із космосу. Таким чином, країна розпочала космічну діяльність, виходячи з інтересів оборони, а потім реалізує велику космічну програму як інструмент економічного розвитку. У попередні роки (2005—2014) виконувалась Національна програма космічних досліджень (NSRP), а також була розроблена концепція (Space Vision) до 2023 року, в якій ставиться завдання забезпечити близько $ 5 млрд у глобальній космічної економіці до 2023 року. За цей період буде забезпечено постійне нарощування витрат на НДДКР (до 2 % ВВП) і швидке зростання вкладень у космічні дослідження, зокрема у розвиток кількох дослідницьких центрів: Науково-дослідного інституту космічних технологій (TÜBİTAK UZAY), Дослідного центру космічних технологій у Білкенті (BİLKENT BİLUZAY), Лабораторії проектування космічних систем в İTÜ та деяких інших. Швидке зростання космічного сектору стримується кадровими чистками у середовищі фахівців ВПС і навчальних установ (які є основою кадрів космічної галузі) після введення у 2017 році президентської форми правління.

Загальна тенденція розвитку турецького космічного сектору не може не позначитися на світовій космічній економіці у довгостроковій перспективі.

Використана статистична інформація із таких джерел:

• https://www.defensenews.com/space/2017/03/01/turkey-moves-to-launch-space-agency/

• Ercan C., Kale I. Historical space steps of Turkey: It is high time to establish the Turkish space agency. Acta astr. 2017. Vol. 130. P. 67—74.

• Aiming high: Turkey's aerospace ambitions make progress (https://www.janes.com/imag-es/assets/479/69479/Aiming_high_Turkeys_aerospace_ambitions_make_progress.pdf)

• Duygu Halim. Tunc Medeni. Comparative Strategic Analysis of Space Technologies: Developing a Roadmap for Turkey. International Journal of Ebusiness and Egovernment Studies. 2012. Vol. 4, No. 2 (http://www.sobiad.org/ejournals/journal_ijebeg/arhieves/2012_2/duygu_halim.pdf)
• https://topwar.ru/
• https://regnum.ru/news/1711657.html
• http://www.xinhuanet.com/english/2017-11/15/c_136752633.htmANKARA, Nov. 14 (Xinhua) (Дата звернення 16.10.2018)

Польща

Сусідня Польща активно розвиває космічний сектор, зафіксувавши у національній космічної стратегії положення про його важливу роль у зростанні економіки. Графіки на рис. 4.6 і 4.7 демонструють зростання витрат на дослідження (космос займає не менше 10 % витрат на дослідження) порівняно з ростом ВВП на душу населення. Цей інтегральний показник, як і прагнення розвивати космічні технології, свідчить про обрану інноваційну модель.

Польський шлях входження до космічного клубу має специфічний характер. Його особливістю є поступове нарощування потенціалу з орієнтацією на європейські космічні програми. До кінця 1980-х в країні практично була відсутня космічна промисловість, а основними виконавцями космічних програм були Центр космічних досліджень (СВК, створений у 1976 році), Інститут геодезії і картографії (спеціалізується на застосуванні дистанційних даних). Протягом останніх 20—30 років Польща поступово нарощувала власний космічний сектор, який вже має великий досвід і реальні досягнення. Він складається із декількох наукових центрів, експериментальних лабораторій в університетах, а також кількох десятків малих і середніх підприємств.

Новий етап розвитку польської космічної діяльності пов'язаний із підготовкою та вступом в ЄКА в 2012 році й ухваленням низки урядових і двосторонніх документів («Програми дій в інтересах розвитку космічних технологій та використання супутникових систем в Польщі»), створенням Міжвідомчої групи у справах космічного простору, а потім космічного агентства (POLSA). У результаті поляки змогли брати участь у наукових

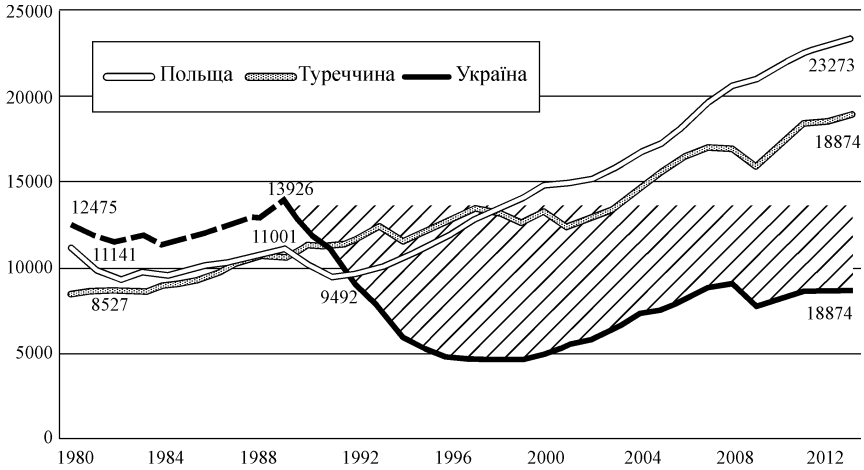

Рис. 4.6. Динаміка ВВП на душу населення в Україні, Польщі та Туреччині, постійні ціни 2013 року, $ [23]

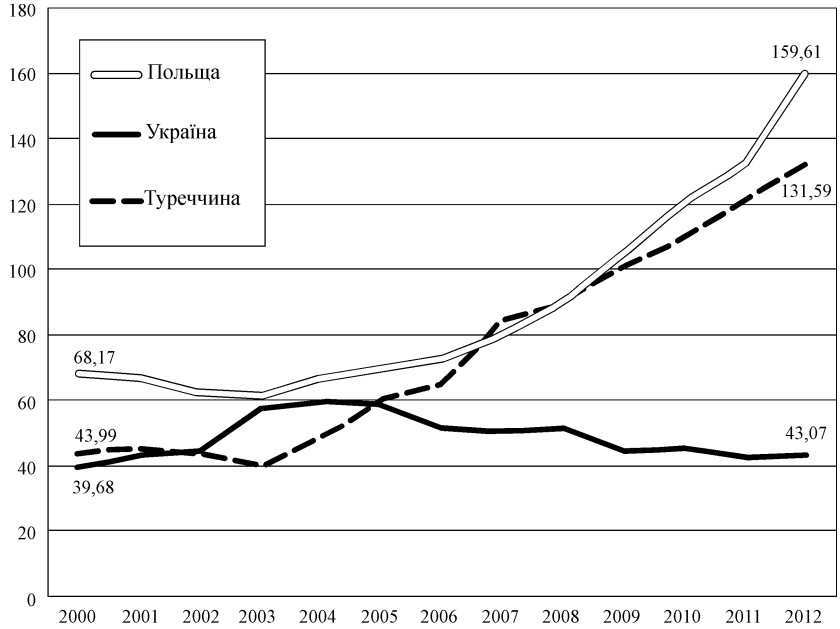

Рис. 4.7. Динаміка витрат на НДДКР на душу населення в Україні, Польщі, Туреччині, постійні ціни 2000 року, $ [23]

програмах ЄКА, включаючи флагманські місії ЄКА (Cassini-Huygens, Integral, Mars-Express, Rosetta, Venus Express і Herschel). У рамках польсько-канадсько-австрійської програми Bright Target Explorer (BRITE) запущені два перших польських наукових супутники — Lem і Heweliusz (маса до 10 кг, запуски відбулися у 2013 і 2014 роках).

У 2007—2013 роках ЄС виділив близько 4,9 млрд євро на космічні проекти, тобто 700 млн євро щорічно. При цьому внесок Польщі становить близько 3,2 % у загальному космічному бюджеті Євросоюзу (близько 22,4 млн євро щорічно). У 2014—2020 роках ЄС планує направити на космічну діяльність усього близько 11,8 млрд євро, тоді як внесок Польщі становить приблизно 378 млн євро.

Процес інтеграції польського космічного сектору в європейський передбачав ряд послідовних заходів. У 2007 році ініційована двостороння програма взаємодії (PEKS), у ході якої реалізовані 45 проектів за участі польських підприємств (2009—2012 рр.). З 2012 року діє перехідна програма безпосередньої підтримки польської промисловості (Polish Industry Incentive Scheme — PIIS). Її головна мета — пристосувати польську промисловість до завдань і вимог ЄКА.

Протягом 2018 року було продовжено підготовку національної космічної програми, яка передбачає виділення 1,43 млрд польських злотих ($ 420 млн) на восьмирічний період. За планами POLSA, програма дасть змогу об'єднати польські організації космічної галузі з іноземними партнерами для розробки двох нових супутників (астрономічного і SAR мікросупутника), а також для розробки нових технологій. Польські розробки мають бути суттєвою складовою проектів (електроніка, механіка, системи керування, наземне і бортове програмне забезпечення), хоча європейські партнери будуть відігравати важливу роль. Польща хоче збільшити свою участь у нових технологіях, які використовуються в космічній галузі; згідно з проектом програми загальний обіг у цій сфері повинен досягти до 7,5 млрд євро (32,5 млрд злотих), а темп зростання передбачається до 4 % в рік. Варто зазначити, що серед нових технологій розробляються і системи ракети-носія легкого класу.

Результатом зазначених євроінтеграційних зусиль став істотний розвиток польської космічної індустрії; за офіційною інфор-

мацією POLSA у країні понад 300 компаній бажають інвестувати в космічні проекти, а близько 40 організацій працюють головним чином на космічні проекти. Разом з тим аналітики відзначають труднощі входження польських організацій у великі проекти ЄКА, тому влада ініціювала продовження програми підтримки польської промисловості до 7 років. Крім того, країна встановлює нові контакти, уклавши угоди щодо космосу з урядами Франції, Італії, Китаю, Мексики, Бразилії та України.

Використана статистична інформація:

• Polkowska M., Ryzenko J. Aktywność Polski w przestrzeni kosmicznej — nauka polityka i prawo. Stan obecny. Gdańskie Studia Prawnicze, 2016, tom XXXVI, Problemy prawa prywatnego i pub¬licznego w pierwszych dekadach XXI wieku. P. 339—356 (https://prawo.ug.edu.pl/sites/default/files/_nodes/strona-pia/33461/files/36polkowska.pdf)

• Polska strategia kosmiczna (https://miir.bip.gov.pl/fobjects/details/295879/zal-_nr_5_do_opz_polska-strategia-kosmiczna-pdf.html)

• Polski sector kosmiczny, PAK (https://polsa.gov.pl/)

• Analiza polskego sektoru kocmicznego, PAK (https://polsa.¬gov.pl/) (Дата звернення 16.10.2018)

ВИСНОВКИ

Якщо вам здалося,
що я висловився досить чітко,
ви неправильно мене зрозуміли.
А. Грінспен

У перших чотирьох розділах зроблено спробу коротко проаналізувати сучасну космічну діяльність з точки зору її наявних результатів і найближчих перспектив (Why Space?). Висновки допоможуть подальшому обговоренню результатів власної космічної діяльності та шляхів побудови стратегічного керування. Вище висловлювалася думка деяких аналітиків щодо зміни парадигми космічної діяльності; наш аналіз не ставить за мету підтвердити цей висновок або викликати сумніви у ньому. Перед нами стоїть практичне завдання: позначити ті важливі зовнішні обставини, які ми повинні враховувати під час розроблення власних планів.

1. Роль космічної політики у сучасному світі, як і раніше, значною мірою визначається космічною міцю — здатністю використання ракетної техніки, а також цивільних, розвідувальних, комерційних космічних систем і інфраструктури для підтримки стратегії національної безпеки, досягнення національних цілей. Збільшення ролі сучасних космічних систем пояснюється їхніми унікальними можливостями: високою інформативністю, роздільною здатністю, а також здатністю працювати за будь-якої погоди та доводити інформацію до кожного суб'єкта керування. Із розвитком космічних технологій трансформувався зміст геополітики, змінивши пріоритетність факторів, які визначають безпеку і впливовість держави; деякі аналітики стверджують про перехід від геополітики до інфраструктурної політики.

2. Відбулося помітне зрушення у цільовій орієнтації космічних програм, принциповим чином орієнтованих на потреби усіх можливих споживачів. Саме

тому у сучасних умовах не може бути власне космічних пріоритетів, зумовлених виключно логікою розвитку космонавтики. З цього випливає ключова теза сучасної космічної політики щодо підпорядкованості пріоритетів космічної діяльності головним національним пріоритетам (в економіці, безпеці, науці, освіті, підвищенні якості життя громадян). Ефективність космічних програм оцінюється тим, наскільки підвищиться рівень безпеки країни та регіону, який виграш від прогнозу катастроф або оцінки наслідків лиха, як покращилися конкретні управлінські рішення тощо. Формування технологічної, науково-технічної та кадрової політики жорстко пов'язано з можливістю космічних технологій ефективно вирішувати пріоритетні державні та суспільні завдання. Від цього залежить відповідь на питання щодо масштабу та пропорцій розвитку нових систем, технологій і виробничих потужностей у космічній програмі держави.

3. Економічна роль сучасної космічної діяльності швидко змінюється. Судячи з динаміки розвитку, через 10—15 років цей сектор відіграватиме суттєву роль у світовій економіці завдяки динамічному зростанню нових ринків космічних послуг. Економічна роль космонавтики визначається об'єктивними потребами сучасного інформаційного суспільства, в якому пріоритет переходить від переважно виробництва товарів до виробництва послуг, проведення досліджень, підвищення якості життя, а впровадження інновацій залежить, в основному, від отримання нових знань. Відомо, що ефективність інновацій визначається головним чином двома факторами: фінансуванням і рівнем вирішуваних завдань. Космонавтика висуває найвищі вимоги до науково-технічних розробок і, відповідно, визначає найвищу ефективність інновацій. Саме із цим фактором пов'язана революційна роль космонавтики у розвитку найважливіших галузей економіки. Існує близько 40 ключових макротехнологій, що визначають рівень економіки, а аерокосмічні технології посідають перше місце у цьому списку. Саме їхні потреби дали старт радіолокації, створенню легких жароміцних сплавів, композиційних матеріалів, обчислювальної цифрової техніки, систем керування, двигунобудування, навігаційних систем. Поява сектору «нового космосу», орієнтованого виключно на ринкові механізми, визначає, який вигляд матиме у майбутньому космічна економіка.

4. Проблеми сталого розвитку і безпеки у сучасних умовах можуть вирішуватися тільки у контексті розвитку космічних тех-

нологічних систем. На сьогодні у рамках міжнародних ініціатив (GEOSS, Copernicus і деяких інших) вирішується проблема створення постійно діючих космічних систем глобального моніторингу. Характерна риса сучасного підходу — спільне використання космічних навігаційних, телекомунікаційних засобів, а також даних наземних та космічних спостережень, що визначає якісно новий рівень застосування космічних технологій у системах прийняття управлінських рішень.

5. Сучасна КД демонструє нові можливості міжнародного співробітництва, що розвивається паралельно із посиленням конкуренції між партнерами. Крім збільшення числа учасників, сучасну КД вирізняють і нові організаційні можливості. Одна з них — реалізація метапроектів (надпроектів), що характеризується новою культурою взаємодії великої кількості учасників: загальна стратегія визначається як глобальними, так і національними пріоритетами, відповідністю загальній стратегії розвитку держав, орієнтованістю на користувача. Характерні приклади: Міжнародна космічна станція, глобальна система систем спостереження за Землею (GEOSS), перспективні програми освоєння Місяця та Марса (Deep Space Gate і наступні стадії). Глобальна проблема — походження життя і доля цивілізації — вимагає координації не тільки власне дослідників космосу, а і політиків, економістів, менеджерів та інженерів. Звернемо увагу на механізм ухвалення рішень у рамках такого роду проектів. Концепція, розроблена фахівцями космічної галузі, проходить апробацію у незалежних експертів, науковців, менеджерів та економістів. Необхідною умовою проходження проекту є підтримка громадян (не менше 50 %), а також міжнародних партнерів. Для країн, які неспроможні на власні масштабні місії, участь у таких метапроектах — це питання космічної перспективи.

6. Принципова орієнтація сучасних космічних програм на наукові дослідження, а також освоєння нового ресурсу, яким є космічний простір. Космічна наука в космічній стратегії відіграє двояку роль. З одного боку, немає іншої галузі наукового знання, яка б такою самою мірою впливала на наше сприйняття навколишнього світу; походження Всесвіту і людства, закономірності коеволюції і, нарешті, наша доля можуть пізнаватися лише у контексті розвитку сучасної космічної науки. Фундаментальні знання про довкілля стають основою життєдіяльності, забезпечення безпеки, освоєння нових ресурсів, покращення якості жит-

тя і розвитку особистості. З іншого боку, реалізація космічних дослідних місій ставить перед промисловістю завдання найвищої складності, сприяючи зростанню інноваційного потенціалу космічних підприємств. Тому космічні програми більшості держав, навіть орієнтованих на прикладні або оборонні завдання, включають, як правило, зростаючу кількість наукових проектів.

І, нарешті, відзначимо потужний потенціал космічної діяльності як фактора розвитку науково-технічного та інтелектуального рівня суспільства. Природне прагнення людини до пізнання нового проявляється у втілених унікальних технічних системах (МКС, телескоп Хаббла, ракети-носії), які наочно демонструють національну могутність і досягнення людського розуму. Цей фактор часто перевищує запланований економічний або науковий ефект від космічної місії, оскільки відображає новий етап взаємовідносин людини та природного світу. Мабуть, саме через це у більшості космічних програм серед пріоритетних завдань зустрічаємо «inspiration» — надихання молодого покоління.

Частина друга

ПРО ШЛЯХИ РОЗРОБЛЕННЯ СТРАТЕГІЇ КОСМІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ УКРАЇНИ

- **Про деякі результати космічної діяльності України**
- **Про вироблення стратегії космічної діяльності**
- **Про оцінювання ефективності космічних програм**

РОЗДІЛ 5 ПРО ДЕЯКІ РЕЗУЛЬТАТИ КОСМІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ УКРАЇНИ

Недостатньо того, що ми робимо усе, що можемо,
інколи ми повинні робити те, що потрібно.
В. Черчилль

5.1. Вступ

Тема цього розділу — короткий огляд виконаних програм і досягнутих результатів з точки зору особливостей світової космонавтики, розглянутих у попередніх розділах. Великі та важливі проблеми стану галузі, а саме реформування підприємств, системи менеджменту, технологічного рівня, виробничих потужностей, підготовки фахівців та інші характеристики космічної індустрії, винесено за дужки. Тобто відповідно до задекларованої мети (Why Space?) спробуємо описати, якою видається зовнішньому спостерігачу та зацікавленому користувачу поточна космічна діяльність держави. Така картина необхідна для подальших міркувань щодо засад космічної стратегії: для того, щоб реалізувати новий стан КД, необхідно побудувати систему координат, яка описує нинішній її стан.

Перш за все необхідно визначити ідеологічні підстави і пріоритети тієї діяльності, що була розгорнута в Україні з часу організації Національного космічного агентства України (НКА України, 1992 рік) та ухвалення першої Державної космічної програми на 1993—1997 роки. Робота, яка розпочалася під керівництвом В. Горбуліна та продовжувалася протягом 10 років А. Негодою на посаді керівників космічного агентства, була, безумовно, осмисленою і цілеспрямованою.

Очевидно, що на початку роботи НКАУ не існувало документа, який би називався «Стратегією» або «Планом системних заходів», однак, виходячи з фактів, реалізовувався продуманий сценарій організації КД України.

1. *Організація.* На базі успадкованих підприємств ВПК, галузевих інститутів, військових частин почалось формування куща організацій, який у внутрішніх документах називали галуззю. Зрозуміло, створювана система не могла стати аналогом сегмента планової соціалістичної економіки через скасування централізованого розподілу ресурсів і відсутність державного замовлення, а НКА України було наділене, в основному, повноваженнями функціонального керування. Водночас були закладено підґрунтя системи, орієнтованої на виконання загальнодержавних завдань і здатної забезпечити цикл створення та експлуатації космічної техніки. Отже, визначення України як космічної держави мало об'єктивні підстави не лише технологічного, а й організаційного порядку: у країни була структура для створення ракетно-космічної техніки і запусків у космос КА різного призначення, експлуатації їх на орбіті та використання одержуваної інформації.

2. *Законодавча база.* Закон про космічну діяльність (1996) [1] і законодавчо закріплена Національна (згодом Загальнодержавна) космічна програма України (1998—2002, 2003—2007, 2008—2012, 2013—2017 роки) [2, 3] заклали засади національного космічного законодавства, яке на той час було одним із кращих на теренах СНД [4]. Ця діяльність охоплювала також аналіз міжнародного права та широке коло проблем: від підтримки підприємств [5] і формування нових структур [6] до закріплення засад структурної перебудови космічної галузі [7]. Зауважимо, що рішення багатьох із підготовлених та ухвалених документів не вдалося реалізувати практично. В одному випадку (Концепція структурної перебудови) вироблена ідеологія випередила свій час, а рішучих заходів у цьому напрямі досі не вжито. В іншому — Агентство зробило спробу охопити невластиві йому повноваження, реалізація яких виявилась нереалістичною (передусім це стосується проблем телекомунікацій, навігаційного забезпечення, контролю космічного простору) [8—10].

3. *Програми та проекти.* Одне із безумовних досягнень початкового етапу організації КД в Україні — ініціювання Національної космічної програми, розрахованої на п'ять років і затвердженої як Закон України [1]. Перші програми були чітко орієнтовані на збереження потенціалу галузі, реалізацію українсько-російських проектів як продовження радянської програми та поступовий перехід до реалізації власних інтересів. Останній пункт виявився найскладнішим і повністю не реалізованим до-

тепер. У перших програмах була сформульована принципово плідна ідея пріоритетності завдань космічних спостережень Землі (проект «Січ»).

Знаковим досягненням потрібно вважати реалізацію комерційних проектів «Морський старт» (більшість аналітиків заслужено вважають його найкращим в історії втіленням ідеї інноваційного використання минулих розробок) і «Дніпро» (кращий реалізований проект конверсії оборонних космічних технологій). Усього в 1992—2016 роках 140 ракет-носіїв вітчизняного виробництва здійснили запуск 370 космічних апаратів на замовлення споживачів із 25 країн. Крім того, були запущені 27 космічних апаратів різного призначення, розроблених ДП «КБ «Південне ім. М.К. Янгеля» (ДП «КБ «Південне») і виготовлених на ДП «ВО «Південмаш». Разом із проектом «Циклон-4» ці проекти мали забезпечити підтримку технологічного потенціалу і виробничих потужностей українських підприємств. Нещаслива доля цих проектів (значною мірою пов'язана з політичними та організаційними причинами) не повинна заслоняти принципово правильні науково-технологічні засади цих робіт.

Ці комерційні проекти, а також успішна участь у європейському проекті «Вега» (з українською розробкою маршового двигуна верхнього ступеня) та «Антарес» (конструкція першого ступеня за замовленням Orbital-ATK, США) створюють імідж сучасної космічної індустрії України. Щорічно підприємства виконували понад 150 міжнародних контрактів на суму до 450 млн доларів. Водночас ці досягнення, формально присутні у звітності про виконання космічної програми, засновані на просуванні на ринок розробок минулих років і мають мало спільного із сучасними космічними програмами.

4. *Міжнародне співробітництво*. Конфігурація міжнародної співпраці визначалася стратегічним баченням ролі українського ракетно-космічного потенціалу західними та російськими партнерами: виконання вимог щодо відмови від ядерної зброї та знищення відповідної інфраструктури, а також умовами режиму РКРТ, особливо відсутністю контактів із державами-ізгоями. Крім того, російська орієнтація багатьох проектів визначалась наявними кооперацією та ринками збуту, а інтереси РФ зв'язувалися із закупівлею розробленої у попередні роки техніки та експлуатацією інфраструктури (головним чином, у Євпаторійському центрі). Завдяки рішенням політичного керівництва країни стали можливі зазначені вище комерційні контракти на зовнішніх ринках,

а також укладання договорів на рівні підприємств із замовниками в Європі, Китаї та інших країнах. Крім того, з'явилася можливість організувати співробітництво (не постачання продукції, а спільне виконання проектів) зі США та деякими іншими партнерами. Політ Л. Каденюка мав покласти початок таким проектам; однак після виконання наукової та освітньої програм, фінансування урядом США наукових проектів і запрошення українських експертів до міжнародних груп планування таке співробітництво припинилося через пасивну позицію української сторони. Водночас більшість цільових проектів національної програми створювалась як російсько-українські («Океан-О», «Січ-1», МКС, наукові проекти) у рамках спеціальної міжурядової програми. Співпраця з європейськими країнами (якщо виключити комерційний проект щодо носія Vega) обмежувалась невеликими проектами на рівні груп учених; координаційний проект TWINNING сприяв входженню українських організацій до команд із виконання європейських дослідницьких грантів (7-ї Рамкової та програми «Горизонт 2020»). Підписані двосторонні міжнародні договори із 24 країнами мали, в основному, рамковий характер; вони сприяли створенню проектів на рівні підприємств, але не призвели до виконання спільних космічних проектів на рівні державних програм.

5. *Координація космічної діяльності.* Значні зусилля докладалися для облаштування різних напрямів космічної діяльності, координації з партнерами та виведення КД на загальнодержавний рівень. Спеціальні відносини були вибудовані з НАН України та Міністерством оборони, напрацьовані засади політики впровадження продукції підприємств у різних галузях, стандарти, нормативні, ліцензійні та інші документи, що формують легітимну роботу галузі. Серед конкретних заходів: створення та координація робіт Національного центру керування та випробування космічних засобів, Національного центру аерокосмічної освіти молоді, двох інститутів подвійного підпорядкування (НАН України та НКА України), створення міжнародного центру космічного права, аерокосмічного товариства, видання спільного журналу («Космічна наука і технологія»), організація всеукраїнської конференції з космічних досліджень, міжнародного форуму з космічного права, інформаційного бюлетеня агентства, офіційного періодичного звіту в COSPAR. Новою формою координаційної роботи стало виконання дослідних прикладних робіт у рамках угоди між НАН України та ДП «КБ «Південне» (2012) в інтересах створення но-

вої техніки та вирішення проблем імпортозаміщення. Багато рішень ухвалювалось не як результат виконання вказівок вищих інстанцій, а в ініціативному порядку, з метою просування результатів КД і підняття рівня затребуваності космічних технологій. На жаль, це завдання у цілому не вдалося вирішити через загальний стан промислової та інноваційної політики в країні.

Відповідно до Закону про космічну діяльність України основним документом, що регламентує здійснення КД (державне замовлення на космічну техніку і послуги), є Загальнодержавна (Національна) космічна програма. Водночас головний обсяг фактичної КД реалізується у сфері зазначених вище комерційних космічних проектів. Основу цієї діяльності становлять розробки радянського періоду та активна робота менеджменту підприємств на міжнародних ринках (передусім ДП «КБ «Південне»). Наявні космічні програми до цих проектів належать опосередковано, хоча формально вони входять до Програми як комерційна складова і невелика частина дослідних робіт виконувалася за бюджетні кошти. В офіційних звітах ці роботи фігурують як пріоритетні. Тому чітко розділити ці складові можна досить умовно. Нижче конспективно викладено інформацію про результати, які складають різні підсистеми сучасної КД України та які отримані різними суб'єктами — підприємствами, що належать до сфери керування Державного космічного агентства, академічних інститутів, приватних підприємств, університетів (у першу чергу НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»).

5.2. Про основні результати космічних програм

5.2.1. Загальнодержавні (національні) космічні програми України (ЗКПУ)

Загалом в Україні виконувалося п'ять таких програм: у 1993—1997, 1998—2002, 2003—2007, 2008—2012, 2013—2017 роках. У табл. 5.1 наведено завдання та напрями космічної програми 2008—2012 років, що ілюструють пріоритети та заплановані роботи (у програмах інших років ці напрями трохи варіювалися).

У табл. 5.2 наведено узагальнені дані щодо фінансування виконаних програм з 1993 до 2017 року (за офіційними звітами ДКА України). Третій стовпчик (сума, передбачена бюджетом)

Т А Б Л И Ц Я 5.1. **Основні завдання та напрями ЗКПУ**

Завдання	Напрями робіт
Проведення наукових космічних досліджень	Вивчення Землі та навколоземного простору, дослідження в галузі космічної біології та матеріалознавства, астрономічні й астрофізичні наземно-космічні проекти, дослідження щодо створення перспективних малих супутників
Здійснення дистанційного зондування Землі (ДЗЗ)	Створення національної системи спостереження Землі «Січ», бортових оптико- та радіочастотних систем, розвиток системи космічного моніторингу та геоінформаційного забезпечення
Розвиток супутникових систем телекомунікації та навігації	Створення супутникової системи зв'язку та мовлення, системи координатно-часового та навігаційного забезпечення
Створення космічних комплексів	Створення космічних комплексів, створення засобів виведення КА, сприяння їхньому комерційному використанню, удосконалення технологій створення РКТ
Розробка перспективної космічної техніки і технологій	Науково-технічні та технологічні дослідження, створення перспективних систем, елементів і матеріалів РКТ
Забезпечення розвитку наземної інфраструктури	Модернізація та розвиток наземного сегмента, створення контрольно-калібрувального полігона підсупутникової підтримки
Забезпечення розвитку міжнародного співробітництва та аналітична підтримка	Виконання програм міжнародного співробітництва, науково-методичний, правовий та інформаційно-аналітичний супровід програми

Т А Б Л И Ц Я 5.2. **Стан фінансового забезпечення виконання національних космічних програм України**

Період	Передбачено програмою, млн грн	Передбачено Законом України «Про Державний бюджет України», млн грн	Фактично профінансовано, млн грн
1993—1997	316,5	193,9	136,7
1998—2002	1315,6	353,6	179,8
2003—2007	1582,5	363,0	335,9
2008—2012	1417,1	620,4	536,4
2013—2017	1109, 0	???	347

свідчить про те, що колосальне недофінансування програм не було результатом браку коштів, який виник несподівано; ця ситуація є запланованою під час формування бюджету. Такого підходу строго дотримувались усі міністри фінансів в усіх урядах. З точки зору менеджменту це означає: програма, що складається з деякої кількості НДДКР, передбачає випуск певної продукції (космічних апаратів, їхніх складових частин, систем, вузлів, агрегатів тощо); виділене фінансування (приблизно 30 %) не дає змоги отримати кінцевий продукт у задані терміни, змушує відмовлятися від цілих розділів програми, істотно знижуючи тим самим ефективність усієї роботи. Цей факт необхідно враховувати під час оцінювання ефективності досягнутих результатів (п. 5.3).

Наведемо коротко найважливіші результати за тематичними напрямами (на підставі офіційних звітів виконавців програми).

Спостереження Землі із космосу. Ця тематика досліджень була пріоритетом усіх програм, що виконувалися, на неї припадало не менше половини виділених коштів. На першому із вітчизняних КА «Січ-1» (1995) була відпрацьована однопунктна система керування апаратом, продемонстрована здатність вітчизняних фахівців забезпечувати повний цикл експлуатації супутника на орбіті. Якщо перші два апарати «Січ-1» та «Океан-О» (1999) були продовженням радянської програми, то наступні КА «Січ-1М» (запущений разом з експериментальним мікросупутником «Мікрон» (МС 1-ТК) 2004 року) і «Січ-2» (2011) — це втілення української програми. Останній розроблено разом із аналогічним апаратом «Єгиптсат-1» на замовлення Єгипту, це цілком сучасний апарат середнього класу для вирішення природоресурсних, сільськогосподарських завдань і спостереження за надзвичайними ситуаціями. Багатозональний сканер і сканер середнього інфрачервоного діапазону супутника забезпечували отримання цифрових оптико-електронних знімків поверхні Землі у п'яти діапазонах: панхроматичному і багатоспектральному з просторовою роздільною здатністю ~8 м і у середньому інфрачервоному діапазоні з роздільною здатністю ~46 м. Працював апарат на орбіті трохи більше року, тому в подальшому передбачався запуск аналогічного апарата з поліпшеними характеристиками. Із використанням даних КА «Січ-2» та зарубіжних супутників вирішено низку практичних завдань, серед яких контроль змін лісових масивів у декількох областях України, класифікація земних покривів Київської

області, створення карти зелених насаджень міст, карти для складання реєстру виноградників тощо.

Крім того, організовано отримання інформації із зарубіжних КА, модернізована відповідна наземна інфраструктура, центри оброблення та поширення інформації. Науково-методичні засади використання супутникових даних в інтересах вирішення наукових і прикладних завдань багато років розроблялися спеціалістами Центру аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України, Морського гідрофізичного інституту НАН України, Центру радіофізичного зондування Землі НАН України та НКА України, Інституту космічних досліджень НАН України та НКА України. Для визначення оптимальних напрямів розвитку вітчизняних систем дистанційного зондування Землі створено методологію оцінки їхньої ефективності, розроблено науково-прикладні програми використання супутникових даних, підготовлено низку державних стандартів у галузі ДЗЗ. З метою вирішення актуальних екологічних та природоресурсних завдань відпрацьовано методи космічного моніторингу техногенного впливу на території, визначення стану та складу лісів, параметрів снігового покриву, вологості ґрунтів сільськогосподарських угідь, покладів вуглеводнів на шельфі, виконано експериментальні дослідження з моніторингу параметрів моря, розроблено тематичні карти для Національного атласу України.

Наукові дослідження. Дослідження навколоземного простору — верхньої атмосфери, іоносфери, магнітосфери (або геокосмосу) — є традиційним пріоритетом української космічної науки. Апаратура для діагностики іоносферної і магнітосферної плазми, яка виготовлена у Львівському центрі (ЛЦ) ІКД НАН України та НКА України (раніше — СКТБ ФМІ), успішно працювала у більш ніж 15 космічних експериментах, починаючи з 1972 року. Найвизначніший з них — міжнародний проект «Інтербол» (1997—2003). У результаті отримано пріоритетні дані щодо процесів геомагнітної активності, динаміки магнітосферних процесів протягом взаємодії із Землею сонячного вітру. Участь українських учених у використанні космічних даних була відносно скромною, проте досвід роботи в міжнародній команді дослідників безсумнівно позитивний. Нездійснений проект «Попередження» було спрямовано на пошук іоносферних провісників землетрусів. Планувався запуск угруповання КА, що складалося з основного супутника та двох субсупутників із різноманітною апаратурою

для вимірювань параметрів іоносферної плазми. Напрацювання у рамках цього проекту реалізувалися частково у космічних експериментах («Варіант», «Потенціал») і будуть використані у перспективному проекті «Іоносат». Експеримент «Варіант» (2005) здійснювався у ході польоту супутника «Січ-1М» і складався з комплексу вимірювань електричних струмів і електромагнітних полів іоносферної плазми.

Міжнародний колектив із Великої Британії, Польщі, Франції, Росії та України продемонстрував високий рівень характеристик нової дослідної апаратури й отримав низку цікавих даних, обсяг яких виявився обмеженим унаслідок короткого часу активного існування КА. Космічний експеримент «Потенціал» (2011) виконувався на борту КА «Січ-2» як продовження експерименту «Варіант» та етап підготовки проекту «Іоносат». Реалізовувались плани створення системи підсупутникового моніторингу для вивчення закономірностей і взаємодій у ланцюжку атмосфера — іоносфера — магнітосфера Землі. Досліджувався, зокрема, процес передавання енергії від поверхні Землі до іоносфери через акустичний канал із застосуванням апаратури французького супутника Demeter. Проектувалася та виготовлялася апаратура для діагностики іоносферної та магнітосферної плазми у рамках російських проектів «Чибис», «Резонанс», «Обстановка» (ЛЦ ІКД НАН України та НКА України).

Позаатмосферна астрономія та астрофізика. У рамках космічних програм України проводилось оснащення одного з найбільших у світі телескопів сантиметрового діапазону РТ-70 в Євпаторійському центрі (РІ НАН України, НВО «Сатурн»). Ці роботи уможливлювали використання українських телескопів РТ-70 і РТ-22 у створенні наземно-космічного інтерферометра із наддовгою базою (РНДБ) та участь у масштабних міжнародних проектах (передусім у проекті «Радіоастрон»). У рамках проекту «Интерферометр» за допомогою радіотелескопа РТ-70 проводились автономні спостереження об'єктів ближнього і далекого космосу, модернізація приймально-реєструвального комплексу, а також спільна робота в мережах РНДБ. Здійснювалася радіолокація об'єктів Сонячної системи (планет, астероїдів, які наближаються до Землі), вивчено радіозображення галактичних і позагалактичних джерел, здійснено картографування радіовипромінювання Галактики, отримано дані спостережень каталогізованого

космічного сміття. Пройшли тестові експерименти з приймання телеметричних сигналів європейських апаратів далекого космосу («Марс-Експрес» і «Розетта»). Ці дуже успішні роботи були перервані через окупацію Криму, а напрацювання за проектом «Радіоастрон» російські фахівці використати не змогли. У проекті «Коронас-Ф» (2001) проводились дослідження Сонця із використанням фотометра ДІФОС-Ф, створеного за участі фахівців ГАО НАН України. Вони дали нові результати щодо спектрів потужності коливань сонячного випромінювання. Дані орбітальних вимірювань зіставлялись із результатами синхронних наземних спостережень в інтересах геліосейсмологічних досліджень. Проект «Коронас-Фотон» (2009) став продовженням комплексних досліджень Сонця за допомогою спеціалізованого супутника. Українськими учасниками експерименту (ХНУ ім. В.Н. Каразіна) розроблено супутниковий телескоп електронів і протонів «СТЕП-Ф» для вивчення динаміки високоенергетичних заряджених частинок магнітосферного та сонячного походження. Незважаючи на короткий час активного існування КА, прилад продемонстрував успішну роботу і забезпечив значний обсяг інформації.

Фізика мікрогравітації, матеріалознавство і технології. У рамках проекту «Сегмент» проводилась підготовка до реалізації на борту Міжнародної космічної станції циклу експериментів для вивчення впливу невагомості на живі об'єкти, фізико-хімічні процеси та властивості речовин. До 2014 року вдалося здійснити один повноцінний експеримент («Обстановка», ЛЦ ІКД НАН України та НКА України) зі створення бортової системи збору даних щодо електромагнітної ситуації навколо МКС, інші завершилися виготовленням наземних прототипів або польотних зразків (проекти «Біополімер», «Біолабораторія», «Морфос»). Однак значний обсяг експериментальних робіт на наземних установках продовжено в рамках інших проектів.

Космічна біологія та медицина. Україна є одним із світових центрів комплексних досліджень у галузі космічної біології, зокрема закономірностей впливу мікрогравітації на живі системи на молекулярному, клітинному й організмовому рівнях. Саме тому наукова програма польоту першого космонавта незалежної України Л. Каденюка на американському шатлі «Колумбія» охоплювала 10 експериментів із космічної біології. Крім космічних екс-

периментів проводилася успішна освітня кампанія з опилення рослин у шкільних лабораторіях, у якій взяло участь понад 60 тис. учнів. Проекти «Клітка» і «Космбіологія» стали продовженням цих робіт, які присвячені гравічутливості живих істот на різних рівнях їхньої організації, механізмам адаптування до умов мікрогравітації, розробці космічного обладнання та біотехнологій. Серед результатів робіт — нова наукова інформація щодо причинних зв'язків між змінами у клітинах і змінами на рівні організму в цілому. Уперше на рівні нанорозмірних підсистем визначено механізми демінералізації кісток, які дають змогу на нових принципах розробляти контрзаходи для гальмування демінералізації кісткової тканини як в умовах невагомості, так і у разі остеопорозу в земних умовах. Досліджено відповідь системи «вірус — рослина» на дію мікрогравітації, запропоновано нові моделі для вивчення її впливу на біологічні ритми в організмі людини, імунну та нервову систему, мікроциркуляцію крові. Розроблено технології культивування певних біооб'єктів для систем життєзабезпечення космонавтів у тривалих космічних подорожах.

Розвиток супутникових систем телекомунікації та навігації. Проект створення Національної супутникової системи «Либідь» передбачалось виконати на комерційних засадах за кошти кредиту. Водночас невелика частина попередніх досліджень виконувалась у рамках ЗКПУ — напрацювання вимог до технічного вигляду космічного сегмента, обсяг необхідного частотно-орбітального ресурсу, пріоритетні зони обслуговування та відповідні технічні параметри системи, деякі проектні матеріали, а також технічні вимоги до наземної інфраструктури для забезпечення супутникового іномовлення (ДП «Укркосмос»). Заплутана схема фінансування, участь російських організацій і розміщення приймальної апаратури у Криму значно ускладнили виконання проекту, який організатори сподіваються відновити в 2019 році. Об'єктивні та суб'єктивні обставини, в яких реалізується проект, спричиняють численні нарікання і сумніви щодо розвитку цього напряму в космічній програмі.

Протягом декількох програм виконувалися роботи зі створення Системи координатно-часового та навігаційного забезпечення України (СКНЗУ), яка повинна надавати споживачам через інтернет навігаційну інформацію з необхідними характеристиками щодо точності, надійності та доступності на всій терито-

рії України. СКНЗУ створюється як наземна розподілена диференціальна підсистема глобальних навігаційних супутникових систем GPS і відповідає чинним і перспективним світовим стандартам. Підвищення точності визначення координат об'єктів досягається за рахунок формування диференціальної корегувальної інформації та її поширення територією України і прилеглими територіями. Розгорнуто мережу у складі 15 контрольно-коригувальних станцій (ККС) і Центру контролю навігаційного поля, виконано дооснащення ККС одночастотними приймачами. Досягнуто в реальному часі точності визначення місцезнаходження на рівні 1—2 м по всій території України і сантиметрового рівня у зоні 20 км поблизу кожної із ККС. Отримані результати допомагають вирішувати низку практичних завдань, серед яких підвищення ефективності та безпеки функціонування транспорту і збільшення транзитних перевезень через Україну, землевпорядкування, геологорозвідка, будівництво тощо (ВАТ «НДІРВ»).

Створення космічних комплексів і розвиток перспективної космічної техніки. За проектом «Циклон-4» створювалась нова РН легкого класу для надання послуг із запуску супутників з екваторіального пускового центру Алкантара (Бразилія). РН «Циклон-4» спроектована із використанням конструктивних і технологічних новацій, серед яких застосування третього ступеня зі збільшеним запасом компонентів палива, можливість багаторазового включення модернізованого рухомого устаткування третього ступеня, застосування сучасної високоточної системи керування з використанням GPS тощо. Проект передбачав підвищення ергономічних і екологічних показників для контролю польотних параметрів. РН оснащується високоякісною системою приймання телеметричної інформації та засобами вимірювання зовнішніх траєкторій. Розроблено документацію на РН та її складові частини, підготовлено виробництво і випробувальна база, виготовлено та відпрацьовано системи, вузли, агрегати ракети-носія, почалося виготовлення першої ракети для льотних випробувань. ДП «КБ «Південне» та ДКА України продовжують спроби щодо здійснення проекту з іншим партнером після виходу Бразилії зі спільного проекту. Створення КРК істотно розширить можливості здійснення запусків КА за держзамовленням, комерційних, а також у рамках спільних проектів (ДП «КБ «Південне», ДП «ВО «Південмаш»).

Для оснащення перспективних систем керування ракетами-носіями, у тому числі РН «Циклон-4», створена вітчизняна безплатформна інерціальна навігаційна система (БІНС). Високу точність керування забезпечує застосування інформації супутникових навігаційних систем, використання лазерних гіроскопів і маятникових акселерометрів. БІНС розроблена із комплектувальних приладів вітчизняного виробництва. Підготовлено виробництво БІНС та експериментальна база, виготовлені та відпрацьовані експериментальні зразки системи. Створено льотні зразки апаратури й проведено їхні експериментальні натурні випробування, зокрема на РН «Дніпро», результати яких підтвердили правильність конструктивних рішень. За результатами випробувань виготовлено зразки для комплектування системи керування РН «Циклон-4» першого льотного виробу (КП СПБ «Арсенал», НВП «Хартрон-Аркос», ДП «КБ «Південне», ДП «ВО «Південмаш»).

Проведено комплекс науково-технічних досліджень для визначення перспективних напрямів технологічного та матеріалознавчого удосконалення виробничої бази створення РКТ. Розроблено технології нового покоління, серед яких технологія електрохімічної підготовки алюмінієвих деталей для зварювання, технологія нанесення жароміцного гальванопокриття, екологічно безпечна технологія наноанодування алюмінієвих сплавів з малим енергоспоживанням, технологія та устаткування для виготовлення вуглепластикових і вуглець-вуглецевих композиційних матеріалів тощо. Розроблено та упроваджено схеми, методи і засоби технічної діагностики стану виробів під час випробувань, апаратура неруйнівного контролю паяних з'єднань, універсальне зварювальне джерело живлення для зварювання алюмінієвих сплавів та ін. (ВАТ «УкрНДІТМ»).

Розроблено інноваційні рішення щодо удосконалення технологій виготовлення радіоелектронної апаратури космічного призначення, стійкої до радіаційних впливів, зі збільшеним ресурсом, мінімальними масогабаритними показниками та енергоспоживанням. Створено дослідне виробництво з виготовлення сонячних батарей і припоїв. Розроблено технологію виготовлення інтегральних датчиків вимірювання кутових швидкостей для систем орієнтації КА, технологію застосування програмованих логічних інтегральних схем (ПЛІС) за допомогою формування на

«кристалі», створено технологію та засоби автоматизованого контролю фотоелектричних перетворювачів (ДП «НДТІП»).

Розроблено систему орієнтації нового покоління для космічних апаратів, що забезпечить проведення прецизійних вимірювань координат зірок, виявлення слабких сигналів на тлі світлових перешкод, оптимальну за швидкістю стратегію розпізнавання зірок за мінімального обсягу пам'яті бортової обчислювальної машини. У результаті створена перша вітчизняна малогабаритна астровимірювальна система (МАВС) для високоточного визначення та видачі бортовому комп'ютеру параметрів тривісної орієнтації у реальному часі. МАВС буде використано для оснащення КС «Мікросат-М», а також для створення перспективних службових систем КА і РН (КП СПБ «Арсенал»).

Нормативно-технічні засади для створення конкурентоспроможної РКТ та іншої продукції із заданими показниками якості та надійності забезпечується подальшим розвитком галузевої системи стандартизації, сертифікації та керування якістю. Підготовлено національні стандарти і нормативні документи, що регламентують проектування, виготовлення, використання та порядок сертифікації виробів РКТ. Забезпечена участь України у розробці міжнародних стандартів шляхом співпраці з міжнародною організацією ISO, проводиться обмін інформацією з відомими європейськими органами сертифікації. Розроблено нормативні документи з керування якістю та «Програма вдосконалення, подальшого розвитку і підтримки функціонування галузевої системи керування якістю на 2013—2017 роки» (ДП «ЦС РКТ», ДП «ДНІЦСКТ», ВАТ «Хартрон»).

Розвиток наземної інфраструктури. Система контролю та аналізу космічної обстановки (СКАКО) повинна надавати власні дані щодо становища в навколоземному космосі для забезпечення польотів вітчизняних РН і КА. Для реалізації необхідних функціональних можливостей СКАКО розроблено підходи з використання українських оптичних засобів спостереження як джерел інформації; у рамках модернізації засобів СКАКО розроблено експериментальні зразки програмно-технічних комплексів зйомки, обробки та відображення інформації, уведено в експлуатацію систему захисту інформації, забезпечено супровід космічних об'єктів і вирішення балістичних задач (ДП «КБ «Південне», ДП НДПІ «Союз»). Проведена модернізація станцій сумісних ко-

мандно-телеметричних радіоліній НС СКТРЛ-М, ПП СКТРЛ-М1 для розширення сектора огляду і підвищення надійності радіозв'язку, а також систем керування антенними пристроями СКТРЛ-М, СКТРЛ-М1 та УН СПІ-8.2 для роботи з КА «Січ-2» та перспективними КА. Забезпечено підвищення швидкості передавання телеметричної інформації для РН «Циклон-4» і підвищення швидкості передавання даних ДЗЗ радіолінією Х-діапазону для КА «Мікросат», створено та випробувано дослідні зразки апаратури споживача супутникових навігаційних систем для роботи в контурі системи керування РН «Циклон-4» (ВАТ «НДІРВ»).

Створювалась мобільна система телеметрії (виносний вимірювальний пункт) для запуску РН «Циклон-4» на необладнаних трасах пусків. Вона забезпечуватиме приймання, реєстрацію, обробку та відображення інформації на активній ділянці траєкторії та в зоні виведення корисного навантаження на заплановану орбіту (ВАТ «НДІРВ»).

Через недостатнє фінансування ЗКПУ в останні роки багато проектів переносилось і видозмінювалось. У проекті програми на 2019—2023 роки позначено як пріоритетний запуск двох космічних апаратів, які розроблено у ході виконання попередньої програми — чергового апарата ДЗЗ «Січ-2М» і КА «Мікросат» (з науковою програмою «Іоносат» і низкою прикладних експериментів).

5.2.2. Комерційні міжнародні космічні проекти

Як уже зазначалося, комерційні проекти ДП «КБ «Південне» формально були частиною ЗКПУ. Водночас вони свідчать про той видимий внесок у світову космічну діяльність, який забезпечувався вітчизняним ракетно-космічним потенціалом і фактично мало пов'язаний із іншими завданнями програми. Ця діяльність характеризується унікальним співвідношенням вкладених бюджетних коштів і коштів, перерахованих до бюджетів різних рівнів (рис. 5.1—5.3). Нижче наведена коротка довідка про основні напрями цих проектів, а багатий фактичний матеріал розміщено на численних тематичних сайтах. Ще один знаковий проект, «Циклон-4», у цьому переліку не освітлений, оскільки долю його ще не вирішено.

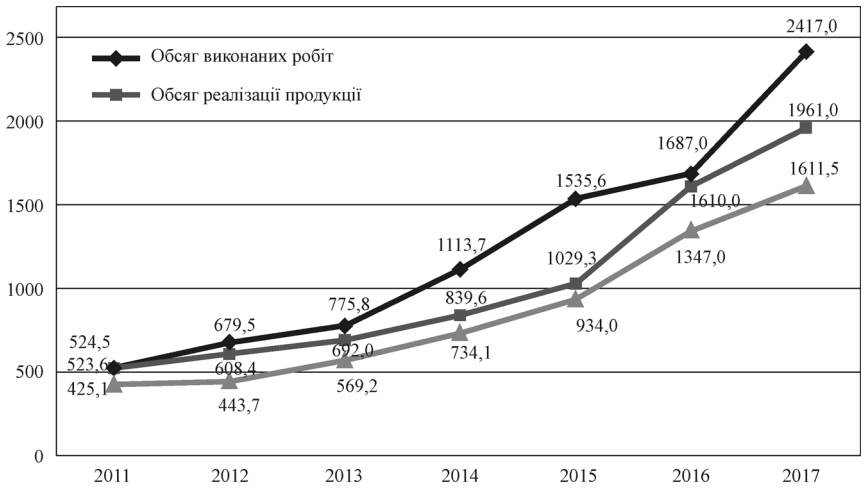

Рис. 5.1. Динаміка обсягів виконаних робіт та реалізації продукції ДП «КБ «Південне» за 2011—2017 роки, млн грн

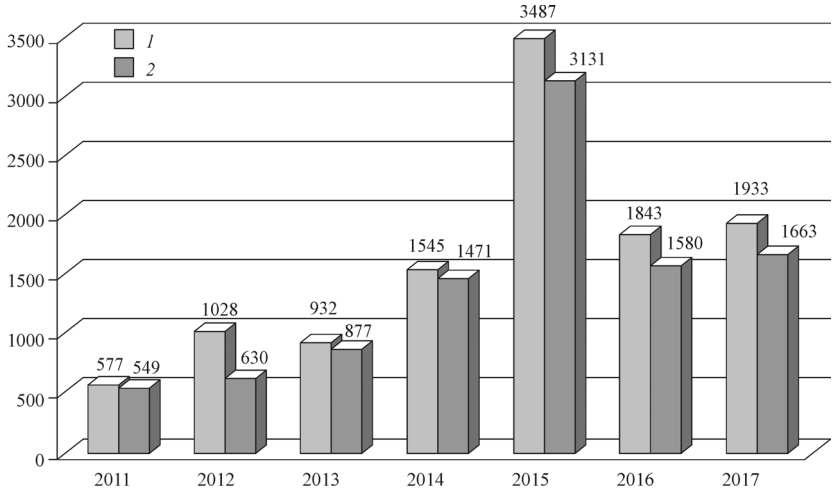

Рис. 5.2. Динаміка отриманого фінансування ДП «КБ «Південне» за 2011—2017 роки, млн грн (загальний обсяг фінансування за 2011—2017 роки (*1*) — 11 345 млн грн, у тому числі за іноконтрактами (*2*) — 9901 млн грн)

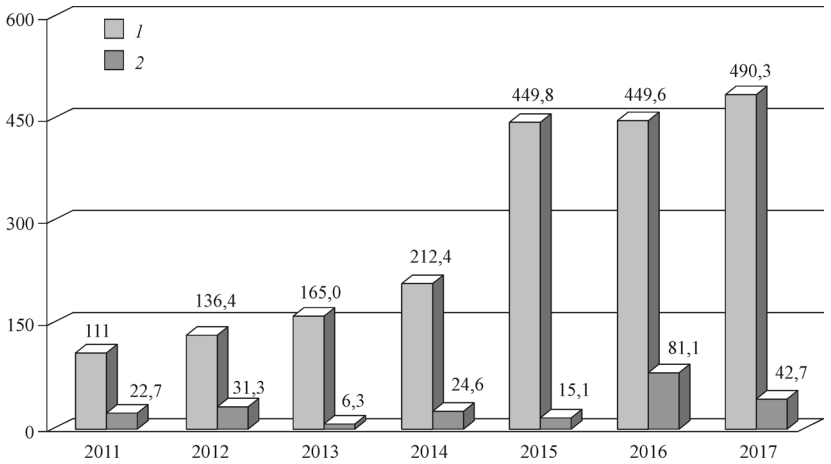

Рис. 5.3. Кошти ДП «КБ «Південне», перераховані до бюджету, державних цільових фондів (*1*) і отримані з бюджету (*2*), млн грн (разом за 2011—2017 роки до бюджету перераховано 2014,5 млн грн, з бюджету отримано 223,8 млн грн)

«Дніпро». Ракета-носій легкого класу «Дніпро» була створена в 1999 році на базі міжконтинентальних балістичних ракет РС-20 (SS-18 «Сатана»), які розроблено в 1970-х роках у «КБ «Південне» і підлягають ліквідації згідно із російсько-американським договором СНО-1. РН «Дніпро» призначена для оперативного високоточного виведення на навколоземні орбіти з висотами 300—900 км, нахилами 50,5°, 64,5°, 87,3°, 98° одного або групи космічних апаратів різного призначення. РН «Дніпро» характеризується високими енергетичними можливостями, точністю виведення і надійністю в польоті. Її комерційна привабливість зумовлена низькою вартістю пуску і досвідченим персоналом. Пуски здійснювалися з космодрому Байконур і пускової бази «Ясний». Оператором пускових послуг була міжнародна космічна компанія «Космотрас». З 1999 року здійснено 22 запуски РН «Дніпро», за допомогою яких на орбіту виведено понад 140 космічних апаратів більш ніж 20 країн.

«Морський старт». У 1995 році ДП «КБ «Південне» і ДП «ВО «Південмаш» спільно з компаніями «Боїнг» (США), «Кварнер» (Норвегія) та «Енергія» (РФ) створили підприємство «Сі Лонч» (Sea Launch) для реалізації унікального міжнародного проекту «Морський старт». З цією метою була проведена модер-

нізація ракети-носія «Зеніт-2» у триступеневу РН «Зеніт 3SL». У проекті вперше реалізувалась ідея використання морської платформи для здійснення комерційних космічних запусків з екваторіальної зони Тихого океану, що дає змогу максимально використовувати ефект обертання Землі для зменшення енергетичних витрат під час виведення супутників на орбіти. Програма «Морський старт» була розрахована, перш за все, на запуски супутників на геостаціонарні орбіти. Розробка та реалізація проекту здійснювались повністю на комерційних засадах, без залучення державного фінансування. З 1999 року спільне підприємство Sea Launch виконало 36 комерційних пусків РН «Зеніт-3SL». У серпні 2014 року програму «Морський старт» припинено через російську агресію. 28 квітня 2017 року був укладений контракт між ДП «ВО «Південмаш» і компанією S7 Sea Launch Limited на виробництво і поставку ракет-носіїв серії «Зеніт». Загалом контракт передбачає виготовлення 12 ракет-носіїв для використання у програмах «Морський старт» і «Наземний старт» у мирних цілях у рамках міжнародних космічних проектів. З 2016 року група компаній S7 стала власником плавучого космодрому «Морський старт» і планує продовжити використовувати ракети «Зеніт» українського виробництва до 2023 року.

«Наземний старт». Це міжнародний проект (Росія, Україна, США) з використання стартового комплексу космодрому Байконур «Зеніт-М» для запуску ракет-носіїв «Зеніт-2», «Зеніт-3». Для реалізації проекту було створено спільне українсько-російське підприємство «Міжнародні космічні послуги».

Маркетингові дослідження, виконані компанією Sea Launch у процесі реалізації проекту «Морський старт», показали, що значну кількість запусків космічних апаратів масою до 4 т доцільно здійснювати не з морської платформи, а із пускової установки космодрому Байконур. У січні 2004 року було підписано Угоду про принципи співпраці за програмою «Наземний старт», яка передбачала використання напрацювань по комплексах «Зеніт» і «Морський старт». Під час підготовки програми було проведено доопрацювання ракети-носія «Зеніт-2» і розгінного блока «ДМ-SL», а також стартового майданчика та інших об’єктів наземної інфраструктури космодрому. З 2008 до 2013 року здійснено шість успішних запусків зарубіжних телекомунікаційних космічних апаратів.

«Антарес». Одноразова ракета-носій «Антарес» створена американською компанією Orbital Science Corporation в рамках міжнародної кооперації за участю підприємств України. Основна конструкція першого ступеня РН «Антарес» розроблена ДП «КБ «Південне» і виготовлена ДП «ВО «Південмаш» у кооперації з українськими підприємствами («Хартрон-АРКОС», «Київприлад», «Хартрон-ЮКОМ», «ЧЕЗАРА» та ін.). РН «Антарес» призначена передусім для доставки вантажів на Міжнародну космічну станцію, а також для запуску комерційних і державних космічних апаратів. Перший пуск ракети здійснено 21 квітня 2013 року. У листопаді 2017 року запущено РН «Антарес», яка вивела на орбіту вантажний корабель Cygnus для доставки на Міжнародну космічну станцію 3350 кг вантажу — максимального вантажу, який виводився на орбіту за всі попередні місії. До кінця 2018 року здійснено дев'ять запусків РН «Антарес».

Vega. Ракету-носій Vega розроблено Європейським космічним агентством спільно з Італійським космічним агентством, вона призначена для доставки на орбіту малих космічних апаратів. РН має здатність виводити на сонячно-синхронну орбіту висотою 1200 км корисне навантаження масою до 1200 кг і на полярну орбіту висотою 700 км — масою до 1,5 т. Маршовий двигун четвертого ступеня ракети-носія (РД-868П) розроблено ДП «КБ «Південне» і виготовлено ДП «ВО «Південмаш». Перший пуск РН Vega відбувся 13 лютого 2012 року з космодрому Куру (Французька Гвіана), 2018 року відбувся її 12-й пуск.

5.2.3. Програми наукових космічних досліджень НАН України

З 2011 року в НАН України виконувались цільові комплексні програми з космічної тематики: «Дослідження сонячно-земних зв'язків та їх впливу на функціонування геосистем» («Геокосмос») та «Астрофізичні і космологічні проблеми прихованої маси і темної енергії Всесвіту» («Космомікрофізика-2»), а також науковий проект «Фізичні основи, методи та інформаційні технології створення нового покоління приладів та систем для космічних досліджень». З 2012 року ця тематика об'єднана в комплексну програму наукових космічних досліджень НАН України, нова

редакція якої розрахована на виконання у 2018—2022 роках (тобто її синхронізовано із Загальнодержавної космічною програмою). Відповідно до концепції програми планується провести космічні дослідження за такими пріоритетними напрямами:

• ідеї, концепції, науково-технічне і фінансово-економічне обґрунтування майбутніх космічних проектів України;

• систематизація, обробка даних і інтерпретація результатів завершених супутникових наукових експериментів, у тому числі з використанням українських бортових приладів, встановлених на вітчизняних і зарубіжних космічних апаратах;

• інформаційне та методичне забезпечення, а також розроблення обладнання для корисного навантаження КА в науково-технічних космічних проектах, що входять до ЗКПУ на 2018—2022 роки;

• науково-технічна підтримка виконання проектів, що входять до Програми спільних досліджень НАН України та ДП «КБ «Південне»;

• науково-технічна підтримка проектів українських учених, які виконуються або заплановані для виконання в міжнародних космічних місіях;

• створення баз даних космічних місій України та світу й обробка їхніх результатів;

• удосконалення наявних і створення нових науково-дослідних наземних систем супроводу національних і міжнародних космічних місій;

• соціогуманітарні та правові аспекти космічної діяльності.

Конкурсні проекти виконуються в рамках 11 тематичних напрямів:

1. *Розроблення пропозицій стосовно державної космічної політики України та організації міжнародного співробітництва.*

2. *Космічна погода.* Розробка науково-організаційних заходів і рекомендацій для створення національної системи та інтернет-ресурсу за напрямом «Космічна погода». Інтегрування у цю систему оригінальних українських науково-дослідних комплексів і установок зондування космічного простору.

3. *Науки про Всесвіт (позаатмосферна астрономія).* Дослідження Місяця як першочергове перспективне науково-технічне завдання. Вивчення Сонця і тіл Сонячної системи. Дослідження з позаатмосферної астрономії та астрофізики.

4. *Динаміка космічних апаратів.* Динаміка та астроорієнтація КА, ефемеридне та координатно-тимчасове їх забезпечення; керування динамікою космічних угруповань: аерогазодинаміка ракет-носіїв, двигунів і космічних апаратів, взаємодія космічних апаратів із довкіллям в іоносфері та магнітосфері Землі.

5. *Науки про життя.* Космічна біологія та медицина. Дослідження впливу факторів космічного польоту на живі організми на різних рівнях їхньої організації та розроблення наукових засад створення біорегенеративних систем життєзабезпечення космонавтів у тривалих польотах і персоналу місячних баз. Взаємодоповнювальні фізичні та біологічні експерименти.

6. *Дослідження Землі з космосу.* Вивчення наземних геосистем за допомогою космічних засобів.

7. *Навколоземний космічний простір.* Дослідження глобальних гідродинамічних і електромагнітних процесів і динаміки потоків частинок в іоносфері та магнітосфері; взаємодія сонячного вітру і приповерхневих збурень із магнітосферно-іоносферною системою.

8. *Нові матеріали, конструкції і технології.* Розробка нових матеріалів і покриттів, здатних витримати екстремальні космічні умови експлуатації; створення складних космічних конструкцій і прогресивних космічних технологій; нові матеріали, створення яких можливе лише за умов космічного польоту.

9. *Космічне приладобудування.* Оригінальні дослідження в галузі наукового космічного приладобудування; удосконалення космічної техніки і технологій її створення; розробка принципів побудови бортової апаратури КА.

10. *Космічні засоби і технології для вирішення науково-практичних завдань.* Розробки, що будуть використані для реалізації перспективних космічних місій.

11. *Науково-правовий, економічний і соціальний аспекти космічних досліджень.* Роботи з подальшого розвитку науково-правового, економічного та соціального аспектів космічної діяльності.

Загальне фінансування програми на 2018 рік становило приблизно 5 млн грн, у відібраних проектах брало участь 15 інститутів НАН України.

5.2.4. Інші програми та проекти

Космічна програма НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського». Знаковою подією для університетської науки стало створення та успішний запуск 19 червня 2014 року на навколоземну орбіту першого українського наносупутника «PolyITAN-1» формату CubeSat, створеного співробітниками Київської політехніки. У КА використано власні розробки університету: сотопанельні вуглепластикові конструкції, фотокрем'яні перетворювачі, експериментальна сонячна батарея, системи радіозв'язку та радіокерування, наземна станція керування польотом, сенсори координат Сонця, а також електронна плата із центральним процесором, за допомогою якої здійснюється керування підсистемами КА.

З 2014 року діє науково-технічна космічна програма Київської політехніки, яка передбачає такі напрями робіт [11]:

- розроблення наносупутників формату CubeSat, участь у створенні мікросупутників різного застосування;
- здійснення супутникових телекомунікацій;
- виконання завдань зі створення системи орбітального сервісного обслуговування;
- виконання замовлень вітчизняних і зарубіжних організацій із космічної проблематики.

Програмою передбачається створення і запуск апаратів у 2016—2019 роках. Університет бере участь у престижному міжнародному проекті QB50, у рамках якого здійснено запуск 2016 року на навколоземну орбіту 50 наносупутників формату CubeSat, зроблених у різних країнах світу, — Китаї, Франції, США, Німеччини, Данії, Нідерландах та ін. і один у НТУУ «КПІ». Метою проекту QB50 є проведення багатопозиційних натурних вимірювань параметрів нижньої частини термосфери Землі на висотах 90—400 м і дослідження цих параметрів під час входження супутників у верхні шари атмосфери; КА «PolyITAN-3» матиме формат 3U, вагу до 5 кг і вирішуватиме окремі завдання ДЗЗ із роздільною здатністю 30—15 м.

Другий напрям програми зосереджено на супутникових телекомунікаціях, зокрема координації супутникових телекомунікаційних мереж. Йдеться про розроблення технічних параметрів супутникових мереж України, підготовку та публікацію заявок з мережами України в Міжнародному союзі електрозв'язку, оптимізацію параметрів мереж для досягнення електромаг-

нітної сумісності з мережами інших країн і, зокрема, про участь у координації супутникової мережі для вітчизняної системи «Либідь» [11].

У космічних проектах, що здійснюються в Україні, з'явився внесок успішних приватних підприємств, які вже сьогодні помітні на ринках космічних послуг. Так, *приватне акціонерне товариство «Систем Солюшнс»* спільно зі швейцарською компанією Leica Geosystems створило й успішно експлуатує в Україні найбільшу мережу коригувальних станцій для ГНСС, надаючи широкий спектр послуг у сфері позиціонування. Крім того, компанія розгортає надання послуг у сфері точного землеробства. *Науково-виробниче об'єднання «Курс»* спільно з ДП «КБ «Південне» створює проект КА орбітального обслуговування — перспективний проект, орієнтований на зовнішні ринки.

Асоціація «Ноосфера» (Noosphere Ventures) просуває низку ініціатив, зокрема в аерокосмічній сфері: серед соціальних ініціатив асоціації в Україні — освітній проект Noosphere Engineering School, конкурс інженерних стартапів Vernadsky Challenge, фестиваль робототехніки BestRoboFest. У травні 2018 року в місті Дніпро представлено нове підприємство Firefly Aerospace, на якому розгортаються дослідження та експериментальні розробки у галузі ракетної техніки. Компанія EOS (Earth Observing System) спеціалізується на обробці та застосуванні даних дистанційного зондування Землі. *Альянс «Нова енергія»* — громадська ініціатива, створена з метою побудови нової політики енергоефективності та енергозбереження, ініціює нові проекти у галузі розробки та впровадження космічних технологій.

5.3. Висновки

На підставі наведеної оглядової інформації можна запропонувати загальні оцінки процесу та результатів космічної діяльності в Україні. Почнемо зі вступного зауваження історичного плану. Формування космічної діяльності України відбувалось на індустріальній та науково-технічній базі частини радянського потенціалу, який призначався для розроблення та виготовлення ракетно-космічної техніки військового призначення, що значною мірою визначає унікальні особливості української космонавтики порівняно з іншими країнами. Можна виділити два характерних сценарії: для потужних космічних держав (США, СРСР,

об'єднана Європа) КД формувалась на засадах модернізації підприємств оборонної (у першу чергу авіаційної) індустрії, яка проходила у післявоєнний період. У більшості інших країн спочатку формувалось певне науково-технологічне середовище (часто за сприяння «великих» космічних держав), яке напрацьовувало рекомендації зі створення тих чи інших космічних засобів і технологій, виконуючи замовлення держави щодо формування космічної діяльності. На цих засадах і створюється національна космічна індустрія (або науково-технологічний сектор), що відповідає національним пріоритетам і завданням.

В Україні успадкований потенціал створено для вирішення завдань, що вирішувалися іншою країною, тобто структура і науково-виробничі потужності були частиною неіснуючого цілого. Наслідки цієї структурної особливості зводяться не лише до відомої проблеми надмірності потенціалу, а й до технологічної та виробничої залежності від Росії та орієнтації на її ринок. Серйозними виявилися як організаційні, так і світоглядні (а також психологічні) наслідки: рівень проголошених завдань часто не відповідає масштабам України, а космічні програми в основному успадковують радянські підходи. Базова теза про «Україну — космічної державу» (за кількістю запусків, часткою на світовому ринку, рівнем потенціалу) дисонує із реальною державною підтримкою КД. У середовищі управлінців і у суспільстві стикаються протилежні погляди на пріоритетність космічної сфери: від безумовної її підтримки як національного надбання до закликів припинити несвоєчасні витрати на космос. У результаті склалася унікальна ситуація, коли країна із потужним космічним потенціалом націлена на вимоги в основному зарубіжних споживачів послуг щодо запусків, використовуючи ресурс галузі, набутий у попередні роки. При цьому Україна не входить до числа виконавців європейських або інших міжнародних космічних проектів, практично не реалізує власні проекти, а космічні технології не стали «локомотивом інноваційного розвитку» країни. Позитивні результати у комерційних міжнародних проектах досягнуто завдяки активній діяльності підприємств на зовнішніх ринках, а державне керування КД виявилось у цілому неефективним. Загальна ситуація з космічною діяльністю може бути охарактеризована як поступове її згортання, хоча розтягнутість у часі робить цю тенденцію неочевидною.

Аналіз ситуації, що склалася, є необхідною умовою енергійних дій, заснованих на релевантній стратегії. У даній праці авто-

ром зроблена спроба розглянути поточну ситуацію з точки зору програмної, ідеологічної складової КД. У п. 5.1, 5.2 викладено позитивні результати, яких вдалося досягти на початковому етапі формування КД України, а також у процесі виконання поточних програм. Водночас, на підставі аналізу результатів наших програм і проектів, треба визнати, що рівень і результати космічної діяльності не відповідають сучасним вимогам забезпечення базових загальнодержавних завдань, задекларованих у програмних документах. Тобто рівень і ефективність застосування космічних засобів, технологій та інформації в Україні не відповідають сучасним вимогам, зокрема щодо забезпечення безпеки, високотехнологічного розвитку економіки, ефективного керування, підвищення загального науково-технічного потенціалу та якості життя громадян.

Нижче тезисно наведено авторську позицію, на якій базується викладений загальний висновок і яка може слугувати основою дискусії щодо вихідних положень майбутньої космічної стратегії.

1. Результати виконання національних космічних програм свідчать про невиконання основних заявлених стратегічних цілей: створення систем космічного спостереження, входження в міжнародні програми, забезпечення інноваційного розвитку, а сама діяльність реалізується як процес, а не послідовне досягнення поставлених цілей. Незважаючи на низку технологічних і наукових досягнень, створені за бюджетні кошти вироби (космічні апарати, телекомунікаційні, навігаційні, інформаційні засоби) вирішували в основному демонстраційні завдання і не стали частиною систем, які забезпечують вирішення загальнодержавних завдань у режимі постійної експлуатації.

2. Якість керування КД і державна підтримка не забезпечували належний рівень її ефективності. Велика кількість законодавчих і нормативних актів та організаційних рішень не слугують цілісною системою керування КД, а вирішують окремі поточні завдання. Відсутній загальнодержавний орган, що координує застосування результатів КД у різних сферах, а загальнодержавна за формою космічна програма фактично є набором проектів для космічного агентства і підприємств галузі зі створення техніки, а не її застосування. Проекти державної програми формуються так, що функції замовника, виконавця та користувача не розділені. Відсутня цілісна схема КД: вироблення політики та страте-

гії — формування замовлення — контроль якості — експлуатація РКТ — використання інформації та послуг.

3. У ході виконання космічних програм практично були відсутні проекти створення перспективних техніки і технологій. Виконані розробки в основному були спрямовані на модернізацію наявних зразків, створення окремих систем і приладів для поточних проектів. Майже відсутні пошукові дослідження для створення проривних рішень. Науково-прикладні проекти були ініційовані промисловістю і засновані на можливості виготовити певний набір апаратних засобів. При цьому не вдалося розвинути інструментальну базу космічних досліджень, а кількість лабораторій і фахівців, здатних створити корисне навантаження для космічних місій, за останні роки критично зменшилась.

4. Фінансування Загальнодержавної (національної) космічної програми не давало змоги отримати кінцевий продукт, призводило до зриву планових термінів і перекроювання проектів. Основу бюджетного процесу становлять деякі показники попередніх років, ніяк не пов'язані із запланованими роботами і випуском космічної техніки. При цьому фактичне фінансування становило малу частину від передбаченого в Законі про космічну програму (характерний показник — 30 %), а виділення коштів ніколи не було регулярним. Уведення тендерних процедур призвело до зміщення початку фінансування робіт на останні місяці року. Абсурдність такої практики фінансування не лише унеможливлює планове виконання проектів, а й створює серйозні довготривалі наслідки щодо ставлення підприємств до держзамовлення. Оскільки освоїти виділені кошти неможливо, бюджет сприймається як підтримка підприємства, що не передбачає кінцевої продукції. Тому вражає контраст між організацією робіт за комерційними та державними контрактами, а ефективність державних програм знижується критично.

5. Міжнародна діяльність не стала інструментом досягнення власних програмних цілей (йдеться про міжнародне співробітництво, а не про виконання зарубіжних комерційних замовлень на поставку продукції). Численні двосторонні договори мають рамковий характер і не призвели до реалізації спільних проектів. Винятком є лише договори з РФ (до 2014 року), які продовжува-

ли радянську програму і були ініційовані російською стороною. Багаторічні переговори про вступ в ЄКА мають декларативний характер і не призвели до узгодження конкретних спільних проектів. Наявне співробітництво обмежується участю окремих учених або груп у європейських програмах (Горизонт 2020, РП-7 та деяких інших) і є епізодичним. Згорнуто участь українських представників у міжнародних групах планування спільних космічних проектів у різних сферах і стратегічного планування (ISLSWG, ILWG, IPSCG і деяких інших) [12, 13].

6. Незавидна доля фундаментальних і прикладних досліджень вплинула на рівень виконаних космічних програм. Успіх КД безпосередньо залежить від розробки нових ідей, створення нових технологій і приладів, безперервності процесу пошуку. Запуск космічних апаратів один раз на п'ять-сім років — це практично неминуча стагнація досліджень і розробок, а також навичок персоналу у справі експлуатації космічної техніки. Нереалізовані проекти створення нових космічних апаратів, молодіжних супутників спричинюють наше відставання від некосмічних країн, а своїх дослідників провокують змінити спеціальність. Через відсутність нових розробок найближчим часом стане незворотним згортання космічної діяльності як такої. Для того, щоб цей сценарій не здійснився, необхідні не тільки певний рівень фінансування, а й обґрунтована, самоузгоджена і реалістична програма перспективних досліджень та інноваційних застосувань.

Окреслені кризові моменти у КД мають цілий комплекс причин: від неефективності державного керування і фінансування до суб'єктивних якостей окремих керівників. У даній монографії розгляд сфокусовано на одній зі складових КД, а саме — на ідеологічній, радше, виробленні власної стратегії та послідовної її реалізації. Без цього ключового моменту будь-які дії з реорганізації підприємств, реформування органів керування, ухвалення програм різного рівня приречені на поразку. Проте ця проблема не вирішується через те, що вона не усвідомлена і не поставлена. У системі космічної діяльності взагалі відсутній такий елемент досліджень як системний аналіз стану КД і побудова моделі галузі та діяльності загалом. Особи, які ухвалюють рішення, так і не виросли з першого етапу формування галузі, коли актуальним було підтримання успадкованих технологій і виробничих потужностей.

Саме тому національні космічні програми мають вигляд радянських, де містяться майже всі властиві космічній державі напрями. Формально наявна довгострокова програма є екстраполяцією тих робіт, які розпочато в 1990-ті роки і які мають, в основному, демонстраційний характер. Перелік проектів — це список пропозицій керівників підприємств, що не відповідає на питання про ступінь ефективності розв'язуваних загальнодержавних завдань. Ця ситуація зі стратегічним плануванням відрізняє Україну від переважної більшості інших держав і пояснює багато зі сформульованих вище кризових моментів. Тому надалі предметом розгляду стануть саме підходи до стратегічного керування космічною діяльністю.

РОЗДІЛ 6 ПРО ВИРОБЛЕННЯ СТРАТЕГІЇ КОСМІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Те, що повністю контрольовано,
ніколи не буває цілком реальним.
Те, що реально, ніколи не буває
цілком контрольовано.
В. Набоков

6.1. Передумови застосування стратегічного керування космічною діяльністю

Предмет другої частині даного дослідження — підходи до вироблення стратегії космічної діяльності України та засади відповідної методології. Зазначимо, що об'єктом стратегії і стратегічного керування є космічна діяльність у широкому сенсі (див. розділ 4). Ми у це поняття вкладаємо й такі сфери, як наукові дослідження, менеджмент, трансфер технологій, політична, законодавча, нормативна та освітня складові. Ширше трактування диктується нашим підходом, у якому КД розглядається з точки зору її впливу на всі інші «некосмічні» сфери. З позиції зовнішнього користувача космічне законодавство, наука або менеджмент — це складові космічної діяльності.

Уточнимо коротко деякі інші використані у подальшому поняття і контекст їхнього розгляду. Стратегію КД охарактеризуємо як визначення основних довгострокових цілей КД, а також напрям дій і ресурсів, необхідних для досягнення поставлених цілей. Тобто як систему смислоутворювальних намірів, що спирається на наявні чи створювані ресурси та має часові рамки для здійснення поставлених цілей (у деяких випадках, наприклад [1, 2], цілі та орієнтири не входять до поняття стратегії). У різних джерелах можна знайти й інші визначення, а також термін «космічна політика», який вживається у близькому значенні (як процес ухвалення рішень і застосування політики

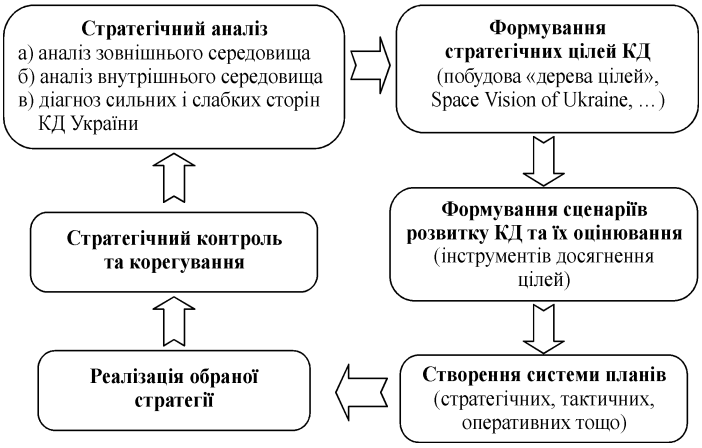

Рис. 6.1. Схема стратегічного керування космічною діяльністю

Рис. 6.2. Стратегічне керування космічною діяльністю

держави щодо космічної діяльності). Наведене означення, на нашу думку, найточніше передає зміст процесу, зображеного на рис. 6.1, і має практичну спрямованість. За стратегічне керування вважатимемо діяльність, схематично показану на рис. 6.2, яка спрямована на досягнення нової конфігурації КД. Стратегічне керування КД передбачає дії, в основу яких покладено аргументовані відповіді на питання: в якому стані КД знаходиться зараз, в якому стані вона буде через деякий період планування і яким чином досягти бажаного результату?

Створюваний підхід до побудови стратегії КД України має два мотиви. По-перше, у сучасних умовах цілі, результати і по-

казники в галузі освоєння та використання космічного простору розглядаються у контексті національних стратегій розвитку (про нову парадигму космічної діяльності вже йшлося). Тому в методологічному плані відбувається перехід від техніко-економічного аналізу космічних засобів до системного аналізу космічної діяльності або, згідно з працею [2], перехід об'єктоцентричної до системоцентричної, а потім до діяльнісної оцінки. Також, і це головне, пріоритети та засади української КД принципово не виводяться із попереднього досвіду і потребують залучення підходів стратегічного керування. Це означає, що є принципова різниця між довгостроковим плануванням (коли майбутнє моделюється екстраполяцією історично сформованих тенденцій) і стратегічним керуванням, в якому екстраполяцію замінено на розгорнутий стратегічний аналіз, що зв'язує цілі та перспективи.

Даний підхід не є кращим або досконалішим за інші. Це різні зрізи однієї і тієї складної системи. Абсолютно необхідним є системний аналіз і прогноз КД з точки зору розвитку техніки, як, наприклад, у фундаментальних монографіях [3, 4]. Окремою сферою є промислова політика, керування галуззю й окремими підприємствами, дорожні карти розвитку нових технологій і трансфер інновацій в інші галузі економіки, пріоритети наукових досліджень, розвиток космічного права. У монографії [2] аналіз космічної діяльності спрямовано на інституційне проектування, тобто встановлення відносин між суб'єктами КД і створення відповідних інститутів.

Для України пріоритетним завданням ми вважаємо створення науково обґрунтованої системи ухвалення рішень у галузі КД, що охоплює адекватний аналіз поточної ситуації, напрацювання системи цілепокладання, сценарного аналізу варіантів розвитку, методології планування і контролю. Кінцевим продуктом такого аналізу повинна бути методологія вироблення планувальних і експертних документів, принципів узгодження різних програм у галузі КД. Така постановка проблеми випливає зі стану стратегічного керування КД, який можна характеризувати такими положеннями:

- відсутністю стратегічних документів і стратегічного керування як необхідної частини процесу ухвалення рішень;
- різними (а іноді протилежними) поглядами управлінців, політиків і громадськості на роль і масштаби космічної діяльності:

від пропаганди масштабних (на рівні радянських) космічних проектів до повного заперечення її необхідності;

• слабкою сумісністю ідеології української космічної діяльності та міжнародних програм, ініціатив і, як результат, нереалізованими планами участі в міжнародних проектах (продаж послуг і техніки до цього пункту не належить);

• практично повною відсутністю застосування результатів КД (інформації, технологій, сервісів) у вирішенні загальнодержавних завдань; такий стан безпосередньо випливає із наявних програм і планів (екологічний і ресурсний моніторинг, сільське і лісове господарство, транспорт, телекомунікації тощо), а не якихось технічних збоїв або прорахунків виконавців.

Унікальність ситуації з КД у нашій країні полягає в тому, що успадковані від СРСР наукові, технологічні та промислові можливості становлять частину того, що вже не існує, а завдання щодо їхнього використання потребують рішучого перегляду, виходячи з інтересів незалежної України. Тому стратегічне планування в принципі не може ґрунтуватися на колишній діяльності, а система ухвалення рішень має враховувати нові вимоги міжнародної космічної діяльності та зміну внутрішніх обставин, особливо у зв'язку з агресією на сході.

Запропонована схема дій не є конспектом стратегічних документів. Утворилась ситуація, коли процес (напрацювання стратегії або принципів стратегування) має не менший сенс за результат. Таке бачення пов'язано зі станом керування космічною діяльністю в нашій країні, коли практично відсутня система вироблення стратегічних рішень, більше того, не усвідомлена необхідність її створення. Тому вироблення спільної мови для дискусії та розроблення методологічних підходів має принципове значення.

У першій частині монографії зроблено спробу представити результати аналізу зовнішніх і внутрішніх факторів, які можуть бути передумовами для розроблення стратегічного бачення і довгострокових космічних планів. Зазначимо ще раз, що цей конспективний текст не претендує на повноту аналізування; його мета — коротко охарактеризувати ті принципові моменти, без яких стратегічне бачення КД неможливо виробити (зрозуміло, що наведена авторська точка зору). Далі дотримуватимемось концептуальної схеми стратегічного керування [1, 5, 6], що передба-

чає такі необхідні етапи: аналіз зовнішніх факторів і внутрішнього стану системи, формулювання цілепокладання, напрацювання сценаріїв, які коригуються в ході оцінки їхньої ефективності (див. рис. 6.1).

Системні осмислені дії в рамках стратегічного керування передбачають перманентне повернення до базових питань, які визначають кінцеве завдання. Для того щоб правильно відповісти на питання, необхідно коректно їх поставити. Будемо враховувати, що мета подальшого викладу — напрацювання аргументації та підходів до вирішення, зокрема, таких питань:

- Які пріоритетні завдання загальнонаціонального характеру здатні вирішувати космічні технології та інформація у найближчій перспективі?
- Якими мають бути масштаб і пріоритети наших космічних проектів і, відповідно, рівень фінансування з бюджету та інших джерел?
- Які шляхи взаємодії українських космічних досліджень і міжнародних програм досліджень та освоєння космосу?
- Як вітчизняна КД зможе стимулювати інноваційний розвиток інших галузей?
- Яка перспектива розвитку вітчизняної космічної індустрії за нинішньої її структури та рівня технологій?

6.2. Нова парадигма сучасної космічної діяльності і цілепокладання у стратегічному керуванні космічною діяльністю

Відповіді на питання про національні пріоритети в космосі істотно різняться для початку космічної ери, 1980—1990-х років і сучасного періоду. У наше завдання не входить порівняльний аналіз епохи «холодної війни» та періоду «індустріалізації космосу». У попередніх розділах і у висновках до частини I виділено ті особливості сучасної КД, які визначають зміст нової парадигми КД.

Сформульовані положення — інтерпретація тих тенденцій, які випливають з аналізу документів з космічної політики та стратегічних планів національних космічних агентств і міжнародних

груп планування. Загалом мета сучасних космічних стратегій різних країн може бути визначена як ефективне використання космічних засобів, технологій та інформації в інтересах вирішення національних завдань. Конкретні програми передбачають декомпозицію цього завдання відповідно до національних пріоритетів і актуальних завдань конкретного періоду. Масштаб використання «космічних» інструментів для вирішення національних стратегічних проблем у різних країнах різний, як і значимість космічного сектору економіки. Однак загальна побудова національних космічних стратегій знаходиться в руслі зазначених тенденцій, пов'язаних загальною парадигмою сучасної космонавтики. Зупинимося коротко на трьох характерних прикладах.

Загальна стратегічна мета космічної стратегії США не змінюється протягом багатьох років: забезпечення глобального лідерства США у космосі, яке повинно досягатися безумовною першістю у декількох обраних напрямах і високим рівнем у всіх інших [7, 8]. При цьому стратегії у конкретних сферах КД змінювалися досить часто відповідно до рішень про те, яким чином заявлене домінування буде досягнуто. Протягом останніх 20 років космічна стратегія в галузі оборони та безпеки змінювалася двічі (2004, 2011 роки), а в галузі космічних досліджень — не менше чотирьох разів. Так, у 1990-х роках Адміністратор НАСА Д. Голдін висунув концепцію «швидше, дешевше, краще», яка передбачала реалізацію великої кількості дешевих автоматичних місій до тіл Сонячної системи. При цьому завдання стратегії вирішувалось забезпеченням «віртуальної присутності людини в космосі». У 2004 році Президент США Дж. Буш висунув концепцію «повернення на Місяць» з акцентом на пілотовані польоти, будівництво місячної бази як етапу наступної експедиції на Марс. Згідно із концепцією Президента Б. Обами пріоритетним був технологічний прорив у засобах доставки, а конкретний вигляд космічних місій мав визначатися після завершення етапу розробок, пов'язаного з місіями до астероїдів. Президент Д. Трамп проголосив повернення до місячної та марсіанської програм як найперспективніших для концепції домінування.

У документах європейської космічної політики виголошено мету діяльності в космосі — забезпечення конкурентоспроможності ЄС на підставі розвитку проривних космічних технологій [9, 10]. При цьому були вироблені стратегії у ключових напря-

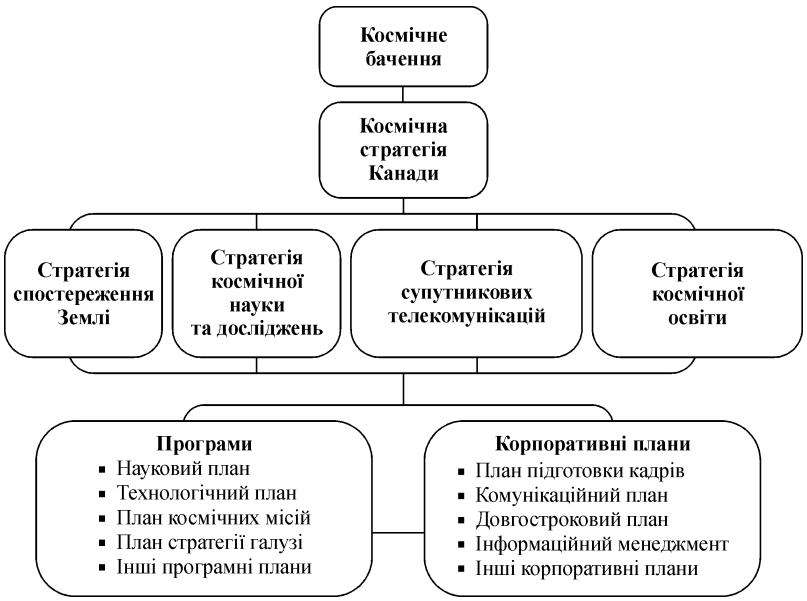

Рис. 6.3. Космічна стратегія Канади

мах. Так, у галузі вивчення Землі з космосу —побудова глобальної моніторингової системи COPERNICUS (колишня назва GMES), у галузі навігації — побудова глобальної навігаційної системи Galileo. Метою діяльності по кожному з напрямів було вирішення фундаментальних завдань європейської політики (підвищення рівня життя, забезпечення прав і свобод особистості, зміцнення європейської єдності тощо).

На рис. 6.3 схематично наведено приклад іншого масштабу: національна космічна стратегія Канади [11]. На підставі вербального опису цілей, завдань і напрямів (SPACE VISION) вироблено спільну стратегію, що складається із чотирьох стратегій за конкретними напрямами діяльності, на підставі яких розробляються програми, а також діяльність, що їх забезпечує.

Для України стратегічна мета і напрями діяльності сформульовано в космічних програмах і документах перспективного планування [12, 13]. Проте формальна схожість із наведеними прикладами обмежується деклараціями найзагальнішого рівня. Напрями та проекти, що виконуються для досягнення заявленої спільної мети, — це традиційні напрями, які розвиваються із ра-

дянських часів підприємствами космічної галузі. Космічні програми складено як сукупність пропозицій підприємств на виконання власних планів (за деякими винятками). Залишимо осторонь питання про рівень і ефективність виконаних проектів, багато з яких обґрунтовані та успішні (див. розділ 5). У даному контексті нас цікавить питання про принципову відсутність стратегічного плану, спрямованого на здійснення національних пріоритетів, узгодженого з усіма потенційними споживачами й орієнтованого на розвиток.

Зайве обговорювати необхідність стратегії, коли, не маючи власного плану, стаєш суб'єктом чужого. Оцінюючи ситуацію з космічною діяльністю України, варто відзначити деякі специфічні моменти. По-перше, щодо плану, який по суті не є нашим власним. Якщо звернутися до базового принципу ставлення західних партнерів до високотехнологічних галузей країн колишнього СРСР (сформульований у дослідженні Британського інституту стратегічних досліджень у 1994 році [14]), то він зводиться до поняття incentivness (що означає заохочення, сприяння). Йдеться про ліквідацію потенціалу, який може становити загрозу партнерам, і залучення нас до проектів, в яких вони зацікавлені. Цей план можна вважати реалізованим, партнери використовують найкраще з наших напрацювань в інтересах своїх користувачів. По-друге, наша залежність від РФ не тільки технологічна і коопераційна. Ідеологія практично усіх проектів (успадкованих і тих, що розвиваються) традиційно виходила з російських центрів. Тому проблема успадкованого потенціалу — це проблема визначення того, що насправді є цінним для вирішення перспективних завдань України. І, нарешті, щодо міжнародного співробітництва та євроатлантичної інтеграції. Протягом багаторічних переговорів на різних рівнях так і не вдалося визначити проекти або напрями, в яких конкретизувалися б декларації про входження до ЄКА або проекти глобального рівня. Навпаки, призупинено участь у різних міжнародних групах планування [15], куди Україна була запрошена наприкінці 1990-х років. Міжнародні партнери готові зрозуміти труднощі з фінансуванням, але не відсутність власної стратегії.

Напрацювання космічної стратегії стикається із серйозними труднощами системного характеру. В країні не вироблено загальних підходів до розвитку високотехнологічних галузей, іннова-

ційного розвитку та й до усієї науково-технологічної сфери. Тому визначити пріоритети застосування космічних засобів на підставі чинних державних концептуальних документів неможливо (винятком, на думку автора, є Стратегія національної безпеки [16] і Воєнна доктрина [17]). Крім того, в Україні не сформувалося коло користувачів космічної інформації та сервісів, а програми розвитку більшості галузей ігнорують можливість застосування космічних засобів, технологій та інформації (або такого роду документи відсутні). Проте це не означає, що напрацювання стратегії КД України має бути відкладено на невизначений час. Фактично мета даної праці — сприяти створенню відповідних умов.

Наступним кроком на шляху формування стратегії повинна стати декомпозиція загальної (і абсолютно очевидної через її декларативність) мети КД. Нагадаємо, що в останній із затверджених програм вона сформульована як «підвищення ефективності використання космічного потенціалу для вирішення актуальних завдань соціально-економічного, екологічного, культурного, інформаційного і науково-освітнього рівня суспільного розвитку, забезпечення національної безпеки і оборони, захисту геополітичних інтересів держави» [12].

На рис. 6.4 проілюстровано варіант декомпозиції загальної мети за п'ятьма напрямами [18]. Цей документ є орієнтиром, що приписує особам, які приймають рішення (ОПР), і експертам враховувати відносну важливість майбутнього ефекту від виконання перспективних програм і проектів. Має проводитись оцінювання не діяльності взагалі, а конкретних сценаріїв, які далі розглядаються. Таким чином, формується зріз пріоритетності, заснований на національних інтересах.

Цей зріз, напрацьований ОПР або експертами, потрібно доповнити поглядом «зсередини», тобто сукупністю думок фахівців щодо пріоритетів національної космічної діяльності з точки зору досягнутих результатів, потенціалу, затребуваності та конкурентоспроможності конкретного напряму. Такий аналіз зазвичай представляють у вигляді аналітичного огляду, де пріоритети сформульовано, виходячи із внутрішньої логіки розвитку конкретних видів діяльності. Такий документ (SPACE VISION, бачення КД загалом або конкретного напряму) дає можливість особам, які

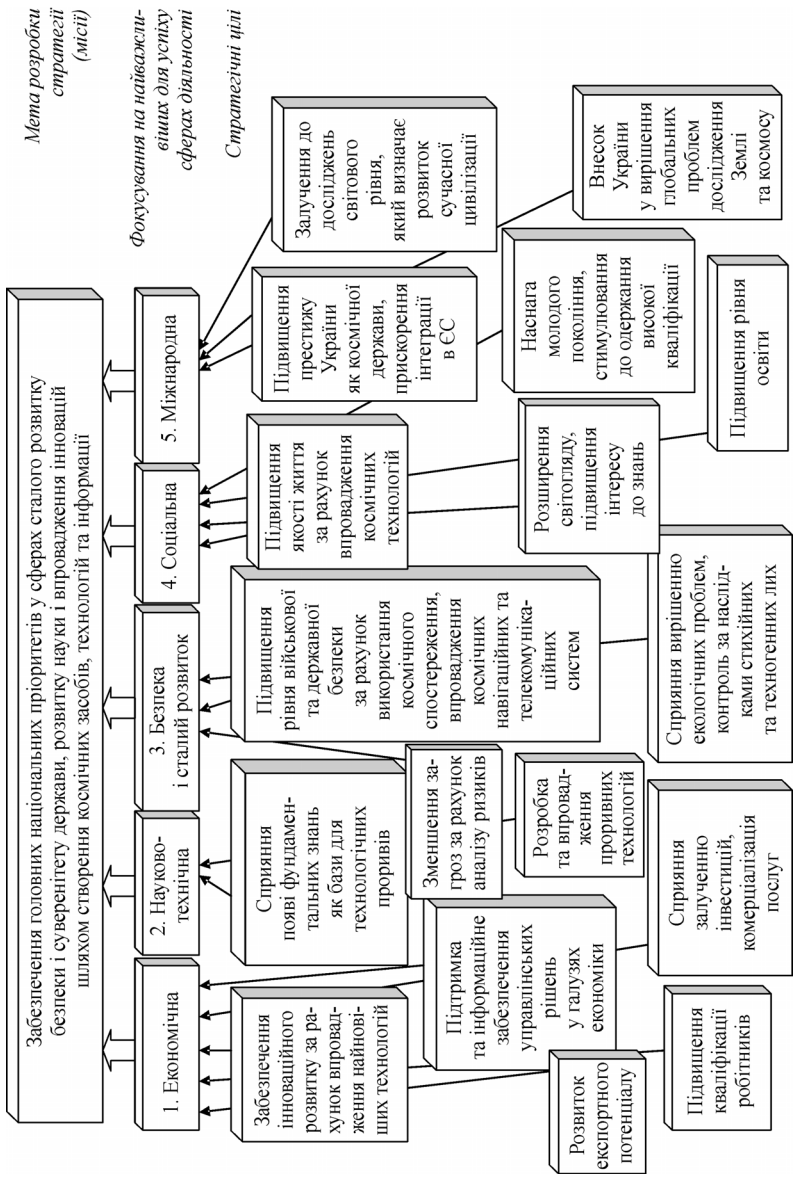

Рис. 6.4. Встановлення цільової орієнтації космічної діяльності (з точки зору національних інтересів)

приймають рішення, вивчити аргументацію фахівців щодо перспектив конкретних напрямів.

Важливою також є громадська дискусія щодо вибору пріоритетних напрямів і очікуваних результатів. Це визнано за необхідне не тільки для урахування думок непрофесіоналів, а й для роз'яснення широкому загалу конкретних переваг реалізації космічних програм. Зазначимо, що у США реалізуються програми, які мають підтримку не менше 50 % громадян.

Інтегрована думка експертів має форму сценарного аналізу; міркування про методи оцінки сценаріїв (і проектів) розглядаються у розділі 7. Зупинимось на деяких особливостях стратегічного керування і генерації сценаріїв як його найважливішого етапу.

6.3. Стратегічне керування космічною діяльністю: основні підходи

Викладене вище стосується вироблення загальних цілей КД, точніше, засад їх формування. У стратегічному керуванні мета або орієнтири не є чимось сталим, коли подальше керування зводиться до формулювання завдань для їхнього досягнення. Різниця між довгостроковим і стратегічним плануванням полягає у трактуванні майбутнього. У системі стратегічного планування екстраполяція замінена розгорнутим стратегічним аналізом, який пов'язує перспективи і цілі між собою і передбачає з'ясування тих тенденцій, небезпек, шансів, а також окремих ситуацій, що здатні змінити сформовані тенденції. Отже, організація стратегічного керування не зводиться до наявності документа під назвою «Стратегія» або стратегічної організаційної структури; це неперервний процес взаємодії різних типів управлінців та експертів з метою практичної реалізації результатів стратегічного аналізу.

Процес стратегічного керування як рух від вихідного стану до нової моделі діяльності активно розроблявся і застосовувався у практиці організації бізнесу (на мезорівні чи рівні кооперативного керування) із середини 1970-х років. Для короткого пояснення взаємовідносин стратегії та визначення мети і орієнтирів, що стало результатом отриманого досвіду, звернемося до відповідного резюме з фундаментальної монографії І. Ансоффа

[1] (автор розглядає цілепокладання окремо від процесу стратегування).

1. Процес вироблення стратегії не завершується якоюсь негайною дією. Зазвичай він закінчується встановленням загальних напрямів, просування за якими забезпечить ріст і зміцнення позицій організації.

2. Сформульована стратегія повинна бути використана для розроблення стратегічних проектів методом пошуку. Роль стратегії в пошуку полягає в тому, щоб, по-перше, допомогти зосередити увагу на певних ділянках і можливостях; по-друге, відкинути усі інші можливості як несумісні зі стратегією.

3. Необхідність у стратегії відпадає, як тільки реальний хід розвитку виведе організацію на бажані події.

4. У ході формулювання стратегії не можна передбачити усіх можливостей, що відкриються під час складання проекту конкретних заходів. Тому приходиться користуватися сильно узагальненою, неповною і неточною інформацією про різні альтернативи.

5. Як тільки у процесі пошуку відкриваються конкретні альтернативи, з'являється й точніша інформація. Однак вона може викликати сумнів в обґрунтуванні початкового стратегічного вибору. Тому успішне використання стратегії неможливо без зворотного зв'язку.

6. Оскільки для відбору проектів застосовуються як стратегії, так і орієнтири, може здатися, що це одне і те ж саме. Але це різні речі. Орієнтир — це мета, яку прагне досягти фірма, а стратегія — засіб для досягнення мети. Орієнтири — це вищий рівень ухвалення рішень. Стратегія, виправдана для одного набору орієнтирів, не буде такою, якщо орієнтири організації зміняться.

7. Стратегія та орієнтири є взаємозамінними як в окремі моменти, так і на різних рівнях організації. Деякі параметри ефективності (наприклад частка ринку) в один момент будуть слугувати фірмі орієнтирами, а в іншому — стануть її стратегією. Оскільки орієнтири і стратегії напрацьовуються усередині організації, виникає типова ієрархія: те, що на верхніх рівнях керування є елементами стратегії, а на нижніх стає орієнтирами.

Для характеристики стратегічного керування космічною діяльністю недостатньо наведених узагальнень із бізнес-середовища.

Ефективність КД визначається не тільки економічними результатами, а об'єктом стратегії КД є не тільки космічна індустрія. Політичні імперативи (і не лише вони) впливають на зміст стратегічного керування. Існує принаймні кілька теорій стратегування, на яких не будемо зупинятися (описувальна теорія Сунь-Цзи та його послідовників, теорія ігор Джона фон Неймана, Джона Неша, теорія конфліктуючих структур Лефевра, теорія розвитку Щедровицького, теорія контрафлексивного стратегування С. Дацюка). Сенс цих підходів полягає в тому, що розглядається ситуація зіткнення стратегій, тобто стратегія передбачає стратегічного суперника або суперників. Інакше ми опиняємося у ситуації довготермінового планування, що прямо не стосується вироблення стратегії. При цьому ситуація зіткнення стратегій може бути описана різними способами: однією і тією теоретичною мовою, що й у стратегічного суперника, або в новій теорії новою мовою відносно суперника (у цьому випадку більше шансів його переграти). Такий підхід, характерний для теорії ігор, фіксує ситуацію, коли результат ваших дій залежить не лише від вас, а й від дій конкурентів.

З цієї точки зору конкретизується питання про характер змін, які передбачає стратегія: прорив чи поступовість, революція чи еволюція. Для космічної діяльності одним із головних факторів, що визначають проривні стратегії, є інноваційна спрямованість. У зв'язку з цим відзначимо її відмінність від стратегії впровадження, яка заснована на уявленні про відому з радянських часів тріаду: наука — техніка — виробництво. За словами про впровадження та інновації стоять дві принципово різні моделі оновлення. У центрі стратегії впровадження саме нововведення — відкриття, технологія: якщо воно є, то питання тільки в організації процесу. На відміну від цього інноваційна діяльність передбачає створення зразків сучасності і відповідно передбачає не ідеологію удосконалення, а ідеологію розвитку. Створення цих зразків — суб'єктів інноваційного розвитку — проблема вельми складна: якщо щось нове додається до сформованої системи, то остання або відкидає нововведення, або перебудовується. Такий суб'єкт не формується сам по собі, вироблення механізмів його створення і є центральним завданням реалізації інноваційної стратегії. Звісно, проблема інноваційності стратегії для української КД — одна з центральних.

Третій аспект, який розроблений у згадуваних теоріях стратегування і є важливим для стратегічного керування КД, пов'язаний з уявленням про типи та рівні стратегії. Тип стратегії, що пропонується для втілення, повинен відповідати рівню, де знаходиться система. Для політичної стратегії цю проблему аналізував С. Дацюк [5]. Якщо ми знаходимось в позиції некооперативної стратегій (з точки зору теорії ігор усі стратегії рівня, меншого за 0, є некооперативними), то пропоновані стратегії вищого рівня є фіктивними, тобто такими, що не можуть бути в принципі використані на нижчих рівнях. Фіктивні дії створюють стратегічний дисбаланс, що набагато гірше за відсутність стратегії. Цей аспект вказує на важливість аналітичної оцінки того рівня, на якому знаходиться наша КД і який накладає обмеження для запропонованих стратегій.

6.4. Стратегічне керування та сценарний аналіз

Викладене у п. 6.3 стосується вихідних положень, орієнтирів нової стратегії, тобто тих міркувань і обмежень, які експерти беруть за основу нової стратегії. Практична діяльність, яку можна «відчути» й оцінити, починається із напрацювання сценаріїв та їхнього аналізування. На підставі обраного сценарію (сценаріїв) створюється дорожня карта досягнення цілей. Сценарний аналіз активно розвивався наприкінці 70-х років минулого століття і застосовується в практиці керування великими компаніями, у першу чергу енергетичного сектору [1]. Значні потрясіння на ринках нафтопродуктів у 1980-х роках спричинили пошук ефективних методів планування в умовах шокових змін зовнішніх обставин. Велика кількість літератури із численними методами сценарного аналізу як складової частини стратегічного керування (зокрема посилання у роботах [19—22]) свідчить про те, що не існує єдиного загальноприйнятого підходу до проблеми. У контексті нашого розгляду спробуємо з'ясувати, які із розвинених ідей можна використовувати для сценарного аналізу такої складної проблеми як космічна діяльність.

Виділяють три головних етапи вироблення сценарію: 1) аналіз проблеми для конкретизації поставленого завдання, введення

обмежень і структуризація проблеми; 2) системний аналіз поставленої проблеми для її подання як взаємопов'язаних динамічних підсистем, пов'язаних з її зовнішнім середовищем (при цьому передбачається ідентифікація характеристичних факторів, що впливають на кожну із підсистем); 3) заключний процес синтезу на основі визначення взаємозалежності між факторами, що впливають на підсистеми; цей синтез встановлює логічний і систематичний спосіб сканування діапазону можливих сценаріїв для вибору основних або їхнього збалансованого поєднання.

Загальна процедура проілюстрована схемою на рис. 6.5 з роботи [20], що охоплює усю послідовність кроків — від формулювання проблеми до вироблення стратегічного вибору і визначення плану дій. При цьому може бути два різних підходи до формулювання майбутнього стану. Один базується на прогнозуванні майбутнього на підставі вчорашніх і сьогоднішніх тенденцій, інший — на бажаному (або навпаки, небажаному) прогнозі. Перший варіант вже обговорювався вище у зв'язку із різницею стратегічного керування та довготермінового планування.

Важливим моментом є те, що хід виконання описаної процедури у принципі важливіший за результат. Так, результатом сценарного аналізу і побудови «дорожньої карти» дій є багаторівнева схема, що розгорнута в часі і містить різнорідні елементи. Елементами схеми можуть бути сформульовані цілі, дії, результати аналізу та оцінки. Процес конструювання елементів і складання даної схеми — це створення плану реалізації тих дій, які необхідно вжити для досягнення поставлених цілей. Тому головна, ідеологічна частина роботи захована в готових формулюваннях елементів схеми. Однак ці формулювання можуть бути отримані тільки у процесі прогнозування, що базується на певній методології. Таким чином, рівень побудови дорожньої карти — це рівень практичного втілення прогнозних оцінок сценарного аналізу щодо елементів системи, їхньої взаємодії, впливу зовнішнього середовища та керування.

Серед відомих методів, що застосовуються у технологічному прогнозуванні, відзначимо важливі для аналізу КД особливості методу морфологічного аналізу. По суті, це метод ідентифікації, що досліджує повний набір можливих відносин, наявних у багатовимірній проблемі [23]. Система, що розглядається, розбива-

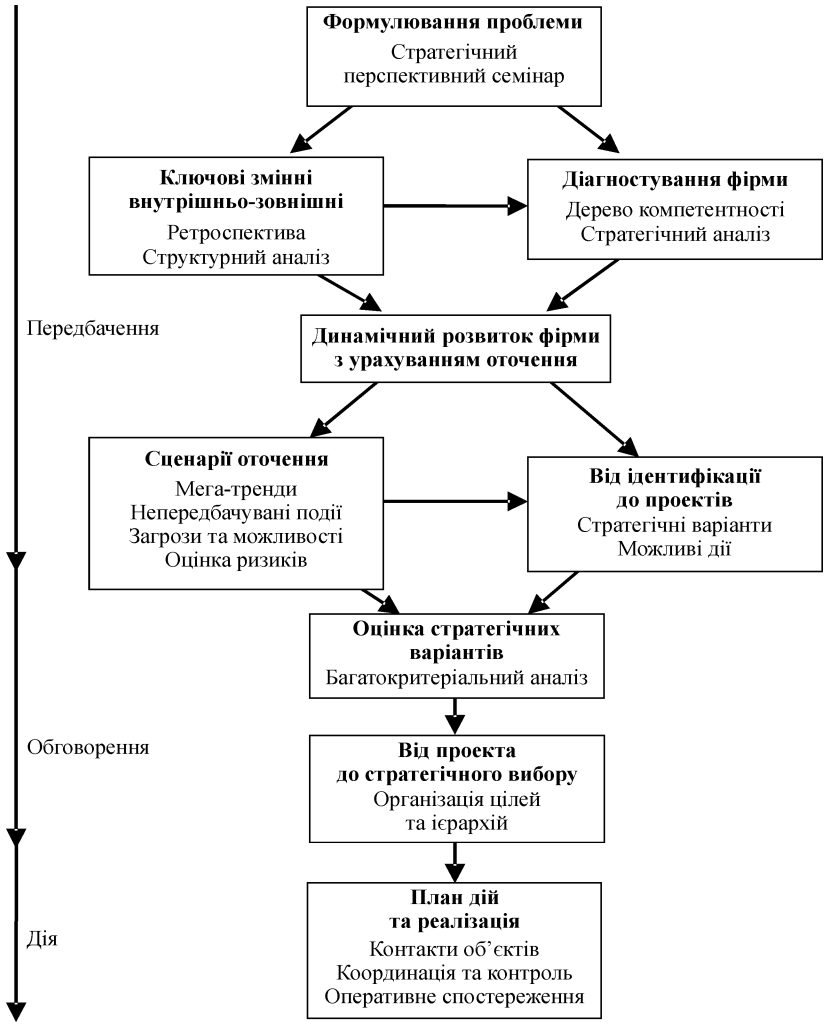

Рис. 6.5. Планування сценарію: схема процесу [20]

ється на підсистеми (компоненти). При цьому вибір компонентів має вирішальне значення і вимагає серйозного осмислення, яке може базуватися на результатах аналізу проблеми (наприклад, за допомогою мозкового штурму). Кожен компонент може мати кілька конфігурацій (станів). Конкретний сценарій

характеризується вибором певної конфігурації для кожного із компонентів. Може бути безліч сценаріїв, які відображають комбінації різних конфігурацій. Усі ці комбінації створюють зону можливостей, які і становлять морфологічний простір.

Варто також згадати важливу характеристику методу Field Anomaly Relaxation, FAR (метод згладжування аномалій), який дає можливість у разі великої кількості різнорідних підсистем викидати заздалегідь неприйнятні, внутрішньо суперечливі (аномальні) сценарії.

У табл. 6.1 наведено приклад того, який вигляд міг би мати проміжний результат генерації сценаріїв космічної діяльності України. Указані в таблиці три варіанти сценаріїв не є результатом застосування відомих методик, роботи експертів або аналітичних досліджень. На думку автора, так може виглядати один з етапів стратегічного керування, необхідний для подальшого оцінювання. При цьому передбачається, що виконано такі умови:

Т А Б Л И Ц Я 6.1. Приклад генерації можливих сценаріїв КД

Сценарій	Пріоритетні цілі	Позитив	Негатив
Пріоритетний розвиток засобів виведення *(індустріальний)*	• освоєння певного сектору ринку запусків • модернізація РН, розробка нових РН • участь у міжнародному співробітництві у сфері надання пускових послуг • дослідження і розробка приладів, систем, технологій для перспективних виробів РКТ і на експорт • упровадження приладів, технологій і матеріалів в інші галузі	• інвестування напрямів, що вже затребувані на ринку • підтримка високих технологій безпеки і оборони • забезпечення висококваліфікованої робочої сили • імідж космічної держави • внесок в експортний потенціал країни	• труднощі на ринку запусків, що знаходиться у стадії стагнації; • необхідність вкладення великих коштів у довгострокові проекти; • відсутність власних завдань у космічних дослідженнях може призвести до стагнації усієї галузі

Закінчення табл. 6.1

Сценарій	Пріоритетні цілі	Позитив	Негатив
Створення системи космічного моніторингу *(ДЗЗ)*	• забезпечення безперервної супутникової інформації в інтересах екології та керування галузями економіки • підвищення рівня безпеки і оборони • участь у виконанні міжнародних програм (кліматичні зміни, глобальне потепління тощо) • розвиток внутрішнього ринку ГІС-технологій	• вирішення актуальних проблем екології, економіки та безпеки на принципово новому рівні • співробітництво з країнами ЄС у напрямі, що є пріоритетом європейської та міжнародної космічної політики • можливість подвійного використання супутникових даних • розвиток напряму, що має великі напрацювання	• труднощі, пов'язані з конкуренцією на розвиненому ринку ДЗЗ • міжгалузева неузгодженість у політиці використання даних ДЗЗ і ГІС-технологій • непідготовленість користувачів і нерозуміння управлінцями необхідності супутникових даних
Наукові космічні дослідження. Участь у міжнародних наукових програмах *(науковий)*	• входження в міжнародні престижні проекти • прискорення приєднання до ЄКА • розробка проривних технологій, приладів, інформаційних систем • подвійне використання нових розробок в інтересах інших галузей, безпеки і оборони • виконання дослідних проектів у рамках молодіжних програм	• потужний вплив на загальний науково-технічний рівень країни • політичні дивіденди від міжнародного співробітництва • залучення молоді у високотехнологічні галузі • заохочення молодого покоління до участі у проривних науково-технічних розробках	• звуження використання власної промислової бази • труднощі адаптації до вимог міжнародних проектів • недостатній наявний потенціал і досвід • довгий термін отримання проектів

1. Групи експертів визначили (на основі системного аналізу поточного стану і бажаної моделі майбутнього) три можливих пріоритетних напрями діяльності, які далі будуть оцінюватись із використанням повного набору критеріїв, схвалених для подальшого оцінювання (див. розділ 7).

2. На етапі генерації сценаріїв сформульовано пріоритетні результати, які передбачено досягнути у ході втілення сценарію.

3. Сформульовано також попередні оцінки переваг і проблемних питань, що необхідно для конкретизації подальшого оцінювання сценаріїв.

4. В обраних сценаріях деякий напрям виділено як пріоритет, що не означає ігнорування інших напрямів. Проте контекст, в якому оцінюється той чи інший напрям діяльності, визначається ймовірністю досягнення мети.

РОЗДІЛ 7 ПРО ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОСМІЧНИХ ПРОГРАМ

Насправді все не так, як на ділі.
С.Є. Лєц

7.1. Вступ

Оцінювання ефективності космічних програм потрібно розглядати як складову частину системи стратегічного керування космічною діяльністю України (див. рис. 6.1), сфери, методологія якої наразі не розроблено, а її необхідність не до кінця усвідомлена суб'єктами керування.

Реалізація сучасної космічної політики передбачає оцінювання ефективності розроблюваної програми. Причому оцінювання передує її втіленню та виконується спеціалізованими структурами із застосуванням складних методичних розробок. Так, реалізація масштабної європейської програми COPERNICUS здійснюється з урахуванням наслідків її виконання для різних галузей економіки Європи на період до 2030 року [1]. Довгострокова програма досліджень космічного простору [2], розробкою якої займаються провідні космічні агентства, містить спеціальний документ, де сформульовано соціально-економічні вигоди від такої програми (див., наприклад, [3]). Сучасну методологію оцінювання ефективності космічних програм активно напрацьовують кілька наукових центрів (див., наприклад, посилання у праці [4]). Таке значення методично вивіреного оцінювання ефективності космічних програм можна пов'язати із парадигмою сучасної космічної діяльності, яку орієнтовано на інтереси широкого кола споживачів і загальнонаціональні завдання. У будь-якому випадку ця теза є ключовою у стратегічних документах провідних космічних держав (див., наприклад, [2]). Політично мотивовані або іміджеві рішення, зрозуміло, наявні у практиці керування, але їх слід вважати скоріше винятковими.

З урахуванням такого підходу до програмної діяльності державні органи під час розгляду бюджетних запитів космічних агентств часто не лише не зменшують запланованих витрат, економлячи гроші для «земних» потреб, а навпаки, виділяють додаткове фінансування через власні уявлення про ефективність космічних програм. Характерний приклад — рішення Конгресу США про бюджет НАСА на 2016 рік. Законодавці вирішили, що наукова частина програми може бути виконана за умови виділення додаткових коштів у розмірі $ 1,3 млрд (при цьому загальне фінансування досягло рекордного рівня у $ 19,3 млрд [5]).

В Україні підходи до оцінювання космічних проектів формувалися, зокрема, у працях [6—12]. Відзначимо, що загальні вимоги до виконання завдань Загальнодержавної (національної) космічної програми містять положення про оцінку ефективності у процесі складання підсумкових звітів. Але практика їх складання та закладена в них ідеологія істотно відрізняються від згаданих зарубіжних прикладів, оскільки мають формальний характер. Головна відмінність полягає в тому, що оцінювання ефективності не є етапом процесу ухвалення рішень, аналізу можливих сценаріїв і шляхів досягнення поставлених цілей. Тому завдання космічних програм мало узгоджуються із загальними завданнями науково-технічного та економічного розвитку країни і формулюються на підставі рекомендацій фахівців, а виділене фінансування неочевидним чином пов'язане із змістом запланованих робіт. Така ситуація — наслідок загального стану довгострокового цілепокладання й стратегічного планування органами держуправління, а також невеликою пріоритетністю програм високотехнологічного та інноваційного розвитку.

Визначення шляхів досягнення мети, принципів і критеріїв оцінювання істотним чином має спиратися на національні пріоритети, враховувати власний науково-технічній рівень, параметри космічної індустрії, а також інтегрованість у систему міжнародного розподілу праці. Тому методологія оцінювання, як і практика стратегування в області КД, не можуть бути запозиченими з інших країн.

Наведений нижче розгляд обмежується сферою космічних програм, тобто йдеться про ті вигоди, які отримують користувачі і суспільство загалом у результаті виконання національної космічної програми. До того ж споріднені поняття виробничої ефективності (або ефективності підприємств), ефективності керування,

ефективності створення космічної техніки і деякі інші види ефективності не розглядаються, хоча і мають очевидні зв'язки з оцінкою соціально-економічної ефективності космічної програми. Такий підхід реалізує оцінювання з точки зору вимог зовнішнього стосовно КД середовища і відображає сучасні вимоги до космічної діяльності.

7.2. Про оцінювання ефективності різних типів державних програм

Державні космічні програми об'єднують безліч різнорідних видів діяльності, тому їхня ефективність може розглядатися з різних позицій. Так, в Україні космічна програма є загальнодержавною, а бюджетне фінансування може виділятись на держзамовлення з виготовлення техніки, підготовку кадрів, підтримку наземної інфраструктури; водночас ця програма є науково-технічною; крім того, вона передбачає виконання інвестиційних проектів [13—15]. Для подальшого викладу доцільно розглянути наявні підходи до формування та оцінювання ефективності таких програм.

Бюджетні програми. Найбільшу кількість відомих методів розроблено у сфері бюджетних програм різного рівня (загальнодержавних, регіональних, галузевих тощо). Такі програми характерні для країн СНД і мають подібну ідеологію. Під ефективністю потрібно розуміти співвідношення кількості та якості послуг (або, ширше, продукції) з рівнем витрат бюджету. У цьому випадку рівень виконаних робіт за даною програмою оцінюють методами експертизи або порівнянням з іншими аналогічними програмами. Експертами, як правило, є представники органів держуправління, які замовляли програму. До основних типів таких програм належать соціально-економічні, регіональні, а також галузеві у таких сферах як освіта, інформатизація, розвиток туризму тощо. Головна мета оцінювання в даному разі — надати узагальнену картину результативності, виражену в натуральних показниках. Виконується аналіз витрачання бюджетних коштів і робляться висновки щодо їхнього цільового використання та можливості економії (на подальших етапах). Крім того, існують бюджетні програми, ефект від яких оцінюється як комерційний ефект інвестиційних програм.

Інвестиційні програми. Основними показниками ефективності інвестиційних програм є ефективність вкладених інвестицій і період їхньої окупності. Інтегральний економічний ефект за такою програмою визначається величиною чистого дисконтованого доходу. Дисконтування витрат і результатів — це приведення їх різночасових значень до їхньої цінності на певний момент часу. Зазвичай норма дисконту визначається розробником програми. Такий підхід орієнтований виключно на фінансові наслідки реалізації програми або проекту, а відповідні показники виражені через грошові потоки. Методи оцінки ефективності інвестиційних проектів для підприємств або галузей часто ґрунтуються на порівнянні ефективності (прибутковості) інвестицій у різні проекти (альтернативою вкладення коштів слугують фінансові вкладення в інші виробничі об'єкти, розміщення фінансових коштів у банку під відсотки або обіг цінних паперів). Для державних інвестиційних програм українське законодавство передбачає обов'язкову оцінку економічної та соціальної ефективності [16]. Водночас відповідні методики ґрунтуються на експертних методах, а численні аналітики зазначають необхідність удосконалення методології.

Науково-технічні програми є основним способом реалізації досліджень і розробок у пріоритетних напрямах, визначених державою. У даному разі оцінювання ґрунтується на очікуваній ефективності потенційних інновацій на кожній стадії їхнього життєвого циклу: наукових досліджень, проектно-конструкторських розробок, створення дослідних зразків, їхнього випробування й впровадження у виробництво. Науково-технічна ефективність результатів прикладних науково-дослідних робіт визначається за допомогою показників науково-технічного рівня (порівняння зі світовими аналогами) у комплексі з оцінкою їхньої економічної та соціальної ефективності [17]. Соціальний ефект має відображати, зокрема, зміну характеру та умов праці, підвищення життєвого рівня, поліпшення побутових умов, розширення можливостей духовного розвитку особистості, зміну стану навколишнього середовища і деякі інші. Викладене стосується програм, що формуються на пострадянському просторі.

У США така діяльність має характер загальнонаціональних ініціатив, дослідження та розробки орієнтовано на досягнення прориву у значимих для національної економіки напрямах (таких як Національна стратегічна ініціатива у галузі комп'ютерних

наук, NSCI, Національна ініціатива в галузі нанотехнологій, NNI). Розгортанню робіт у рамках національних ініціатив передував тривалий період успішних фундаментальних досліджень, а самі роботи спрямовано на їхнє практичне втілення. Крім фінансової підтримки держави передбачено істотну (іноді вирішальну) роль приватної ініціативи та різноманітні механізми підтримки інновацій.

У Європі базовим механізмом науково-технічного розвитку є Рамкові програми — РП-6, РП-7, «Горизонт 2020», РП-9 (на стадії розробки), які акумулюють значні кошти (РП-7 — 52 млрд євро, «Горизонт 2020» — 80 млрд євро) для широкого спектру дослідницьких програм (космос входить до десятки пріоритетних напрямків РП-9). З точки зору застосованої методології оцінювання ефективності відзначимо таку особливість. Відбір проектів, їхня кінцева оцінка і рішення щодо продовження робіт ґрунтуються на висновках експертів. Водночас ці оцінки виставляються відповідно до ретельно виписаної системи вимог, обмежень і пріоритетів. До того ж детальні вимоги формулюються на початковому етапі конкурсів тими ж фахівцями, які можуть стати як одержувачами грантів, так і експертами. Об'єктивність, на думку організаторів, забезпечується широким колом залучених фахівців і перекриттям їхніх сфер експертизи (так, у галузі наук про мікрогравітацію 2015 року було 130 таких експертів, у галузі наук про життя — понад 200) [18, 19].

Оцінюванню ефективності науково-технічних робіт присвячено багато праць [1, 4, 6, 9, 10, 17, 20], причому поряд із вербальним оцінюванням останнім часом відзначається застосування нових економічних аспектів теорії прийняття рішень, що охоплюють економіко-математичне моделювання, економетрику і статистику [1, 4, 9, 21, 22]. Для аналізу ефективності наукових і технологічних процесів використовують спільно різні варіанти наукометричних і експертних методів [23], хоча їхнє обмеження, зокрема для космічної діяльності, очевидне. Останнім часом активно розробляється такий аспект ефективності створення наукового знання і технологій як взаємодія наукового й інженерного середовища та їхня взаємодія зі споживачами. Погляд соціолога на проблеми втілення наукового знання відображає введене в [24] поняття «технонаука», що належить до етапу, який вельми важко оцінити кількісно, але він визначає сферу, на яку витрачається більша частина (до 90%) коштів науково-технічних програм.

7.3. Про вербальне оцінювання міжнародних космічних програм

Розгляд результатів міжнародних космічних програм, зафіксований в узгоджених документах, як правило, обмежується вербальним рівнем. Це пов'язано не тільки зі складністю оцінювання, а й із різницею методичних підходів у різних країнах. Водночас відповідні документи не зводяться до набору декларацій, очевидно йдеться про повний опис ефектів, що задовольняло б урядові органи різних країн-учасників. Це стосується проектів дослідження та освоєння космосу, коли не розглядається ефект прикладних і комерційних застосувань. Найхарактерніший і ретельно відпрацьований документ розроблено Міжнародною групою зі стратегічного планування космічних досліджень (ISPG) [3], який зафіксував погоджений підхід провідних космічних агентств до оцінювання космічних проектів.

Резюме підходу, узгодженого провідними космічними агентствами світу, зводиться до такого. Виокремлено дві основні групи ефективності. Прямі ефекти: нові знання, підвищення національного технічного потенціалу, перетворення інновацій у нові засоби, збільшення продуктивності праці в космосі, створення ринків космічних продуктів і послуг, зміцнення міжнародного співробітництва. Непрямі ефекти: вплив на економічний розвиток, поліпшення охорони здоров'я, вирішення проблем екології, внесок у забезпечення безпеки та оборони. Інший зріз соціально-економічної результативності відображає сфери діяльності, на які мають вплив космічні дослідження, а саме: інновації, культура і духовність, нові засоби для вирішення глобальних проблем. Тут йдеться про створення принципово нових можливостей, які не можна оцінити кількісно, а передбачуваний ефект належить до майбутнього. Крім такого якісного опису ефектів наводиться перелік технологічних досягнень, які вже отримано в ході міжнародних програм: удосконалення сонячних батарей, серцевих імплантатів, протиракової терапії, акумуляторних пристроїв, жароміцних сплавів, що використовуються в турбінах реактивних двигунів, камер сучасних сотових телефонів, компактних систем очищення води, пошуково-рятувальних систем і біомедичних технологій тощо. Цей список доповнюється переліком напрямів, у яких очікуються проривні технологічні рішення та інновації: мініатюризація апаратури; збільшення терміну служби та надій-

ності роботи систем у космосі; зниження пускових витрат; підвищення потужності двигунів; створення легких та ефективних сонячних батарей; легкі конструкції; пристрої зберігання даних із більшою ємністю.

До прямих вигод міжнародних програм і проектів відносять ефект, пов'язаний зі зміцненням міжнародного співробітництва. Цей начебто декларативний пункт є предметом серйозного аналізу експертів. З точки зору американських аналітиків [25], ефект має декілька складових. По-перше, економічна складова, пов'язана із розподілом витрат між партнерами, а також з використанням принципу певної програмної надмірності, що знижує вартість завдяки забезпеченню вищої надійності. По-друге, ефект політичної стабільності та використання проектів як дипломатичних інструментів для реалізації впливу так званої м'якої сили. Відзначаються також вплив на стабільність трудових ресурсів, упровадження набору міжнародних промислових стандартів, що може бути високорезультативним для розвитку вільного ринку космічних послуг.

Отже, міжнародне співробітництво може забезпечити переваги на основі використання принципу, визначеного програмою.

7.4. Стислий аналіз підходів до оцінювання ефективності космічних програм

Загалом поняття ефективності означає співвідношення результатів деякої діяльності і витрат праці та ресурсів, пов'язаних із досягненням цих результатів. Тому ефективність є величиною відносною на відміну від економічного ефекту, який оцінюють в абсолютних одиницях.

За концепцією Парето ефективність в економічній науці часто розглядають не як співвідношення, а як стан соціально-економічної системи. Ефективний (або оптимальний) стан по Парето — це стан економічної системи, коли значення кожного окремого показника, що характеризує систему, не може бути покращено без погіршення інших. В економіці ситуація, коли досягнута ефективність по Парето, вважається ситуацією, де усі вигоди від компромісу окремих показників вичерпані. Парето-ефективність передбачає дотримання трьох умов: ефективність у сфері виробництва, у структурі розміщення ресурсів, у розподілі благ між споживачами і є одним із центральних понять сучасної

економічної науки. Підхід Парето має очевидні обмеження, припускаючи стихійність досягнення оптимуму за допомогою ринкових механізмів і залишаючи поза розглядом соціальний аспект, тобто потреби та інтереси громадян, серед яких розподіляються блага.

У межах нашого дослідження необхідно зробити висновок про те, що навіть проста й ідеалізована модель економічної системи розглядає ефективність як досить складне поняття. Такий опис вимагає сукупності різнорідних критеріїв, що відбивають сутність ефективності, а також показників для вимірювання і зіставлення ефективності оцінюваних об'єктів відповідно до її критеріїв.

Економічна результативність космічних програм привертала увагу дослідників з початку космічної ери. Оскільки освоєння космосу з точки зору економіки означає залучення нового ресурсу, природно оцінювати його економічне значення. Одна з найпопулярніших ідей колонізації космосу, висунена професором О'Ніллом 1976 року (так звані циліндри О'Нілла [26]), передбачала створення самоокупного поселення, розміщеного на стабільній орбіті між Землею і місяцем (у точці Лагранжа L5). Це один із перших послідовних описів космічного поселення, що використовується для виробничої діяльності людини, який продовжує слугувати моделлю для подальших проектів. Показовим є порівняльний аналіз цього проекту і проектів використання космічних технологій для земних потреб, здійснений у фундаментальній праці [27]. Т. Сандер і В. Шульце порівняли цей проект, а також два інших проекти освоєння далекого космосу (космічна енергетика і космічне матеріалознавство) з проектами космічних телекомунікацій, військового застосування та наукових досліджень. У розрахунках використовували економіко-математичну балансову модель (input-output analysis), що характеризує зв'язок між випуском продукції в одній галузі і витратами усіх залучених галузей. У цій, очевидно, першій послідовній економічній оцінці космічних проектів зроблено висновок про більшу економічну ефективність другої зі згаданих груп проектів.

Серед інших поширених методів економічного аналізу космічних програм відзначимо мікроекономічний аналіз, який передбачає оцінку упровадження конкретних технологій; макроекономічне моделювання (прогноз довгострокових чинників впливу на зростання виробництва); методику аналізу доходів і витрат (cost-

benefit analysis) — системний підхід до оцінки сильних і слабких сторін альтернатив, які задовольняють функціональні вимоги даної галузі. На думку автора оглядової роботи [4], усі використані методи аналізу економічної ефективності не дають надійних результатів, зумовлюючи серйозні дискусії щодо їхньої інтерпретації. Так, мікроекономічний аналіз дає вельми завищені оцінки ефективності деяких конкретних упроваджених технологій (обговорюється ефект від упровадження тефлону), що буцімто виправдовує витрати на вартісні місії. Важливим обмеженням є покладена в основу всіх зазначених методик «лінійна модель» інновацій, яка непридатна у сучасній економіці.

Враховуючи ці зауваження, навряд чи можна покладатися на популярну і часто цитовану оцінку програм НАСА, отриману дослідним інститутом Середнього Заходу (Midwest Research Institute, MRI) [20]. У звіті стверджується, що кожен долар, вкладений у дослідження і розробки НАСА протягом 1950—1969 років, дав до 1987 року у середньому 7 доларів збільшення ВВП США.

Аналіз відкритих джерел з обговорюваної теми дозволяє зробити висновок, що наразі багато космічних агентств і урядових органів під час планування великих програм орієнтуються на макроекономічні прогнозні оцінки. Характерним прикладом може слугувати дослідження прогнозної ефективності європейської програми спостереження Землі COPERNICUS, виконане на замовлення Єврокомісії [1]. Це масштабне багатостадійне дослідження засновано як на аналізі статистичної інформації, так і на конкретній роботі із представниками галузей, які прямо або опосередковано використовують (або використовуватимуть) продукцію програми. За цих обставин уперше проаналізовано різні рівні розгортання й упровадження інфраструктури і сервісів COPERNICUS (розглянуто чотири сценарії). Надано прогнозну оцінку ефективності програми, що заснована на економічному аналізі потенційних прибутків десятків галузей у період 2014—2030 років (рис. 7.1).

У сценарії повномасштабного розгортання системи автори [1] дають інтервал значень ефективності (відношення доходів до витрат) від 1,9 до 5,4 (залежно від закладених умов стану економіки). Один із висновків цього дослідження полягає в тому, що максимальна ефективність програми досягається для максимального упровадження космічної інфраструктури в різні галузі, а найбільший ефект проявляється у разі тривалого використання сервісів (тобто ближче до 2030 року).

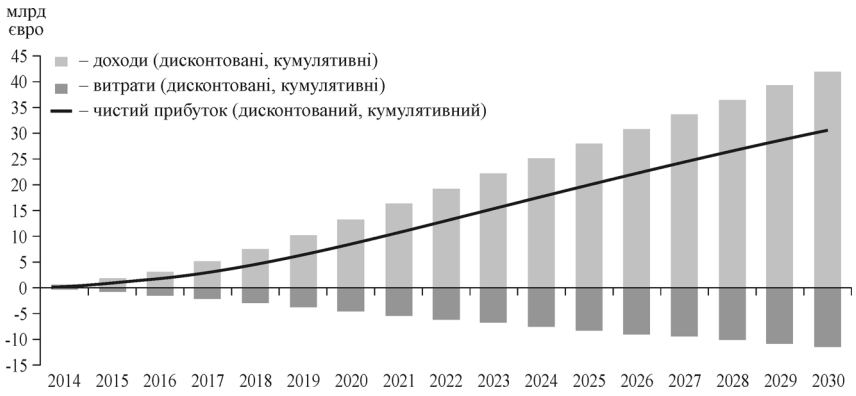

Рис. 7.1. Прогнозна оцінка ефективності програми COPERNICUS [1]

Зупинимось на важливому методологічному аспекті цього дослідження, який стосується питання про вибір тих сфер, для яких проводилися розрахунки. У роботі [1] загальний ефект розраховувався на підставі сумарного дисконтованого доходу деякої вибірки галузей, а їхній перелік і відносна значимість визначались, виходячи з пріоритетів сучасної політики ЄС. Крім того, оцінювався і непрямий внесок у ефективність на основі методик інших авторів. Таким чином, принциповим моментом методики оцінювання ефективності став не лише метод підрахунку грошового вираження доходів певних галузей, а й вибір власне сфер оцінювання.

Цей аспект методології оцінювання ефективності є сьогодні одним із головних об'єктів вивчення. Так, у роботах [28, 29] розглядається класифікація типів впливу космічних програм. В узагальненому вигляді їх можна представити так: прямі ефекти виникають унаслідок продажу продукції і сервісів, які безпосередньо пов'язані з метою космічного проекту; непрямі ефекти зумовлені виконанням таких проектів, але не планувалися заздалегідь (наприклад, spin-off-технології, розроблені для космосу і упроваджені в інші галузі); соціальні ефекти, що впливають на суспільство загалом (від яких економічний ефект оцінити досить важко). У табл. 7.1 надано трактування цих понять з роботи [29], що ілюструє різні види ефектів.

Загалом можна відзначити зростаючий інтерес космічних агентств і державних органів до проблеми оцінювання ефективності КД, збільшення кількості публікацій, а також наукових

Т А Б Л И Ц Я 7.1. **Види соціально-економічної ефективності**

Вид	Категорія	Характеристика вигоди	Приклади
Прямі вигоди	Космос як фактор, що надає унікальні можливості Космос як допоміжний фактор	Без даної технології ефект неможливий принципово Деякі космічні технології підвищують якість життя, здешевлюють виробництво	Глобальна навігація, пряме телерадіомовлення (direct TV) Прогноз екстремальних погодних явищ, контроль морської криги, точне землеробство та ін.
Непрямі вигоди (spin-off)		Ефект як результат застосування космічних технологій до земної діяльності (не передбачалося під час розробки космічного проекту)	МРТ-сканери, імплантований дефібрилятор, лапароскопія, системи фільтрації для очищення води
Соціальні та нематеріальні вигоди		Не вимірюються кількісно (інформування громадськості, політичні дивіденди, міжнародний авторитет)	Національний престиж, розуміння природи кліматичних змін; унікальні відкриття (телескоп Хаббла)

центрів, які займаються даною проблемою. Проте, виходячи з наведеного короткого огляду, ми ще далекі від напрацювання основ аналітичної методології (превалюють вербальні описи), а кількісні методи належать до окремих проектів. Усе це пов'язано з очевидною складністю об'єкта досліджень, труднощами формалізації моделей, недостатнім методологічним опрацюванням. Але практична необхідність розробки та застосування аналітичної методології оцінювання власних космічних програм, проектів, можливих сценаріїв космічної діяльності актуалізує дослідження у цій галузі.

7.5. Про підходи до процедури оцінювання

Вироблення методології оцінювання КД для підготовки планових рішень щодо її розвитку розглядаємо як аналітичний ієрархічний процес, який охоплює узгоджені та взаємопов'язані складові: концептуальну, методичну, математичну. Сформулюємо кон-

цептуальні засади її побудови з урахуванням стану проблеми, коротко викладеної у п. 7.4, а також сучасної парадигми космічної діяльності.

• Аналіз ефективності космічної діяльності проводиться на різних рівнях. По-перше, розглядається відповідність цілей КД загальнодержавним завданням та ціннісним нормам на конкретному етапі загального розвитку. По-друге, розглядається цільова ефективність, тобто оцінка діяльності з точки зору досягнення визначених у космічній програмі цілей; найважливішим елементом є аналіз щодо співвідношення витрат і результатів (економічна складова).

• Мета і завдання космічної діяльності підпорядковані національним пріоритетам, а цілі космічних програм є функціями цілей державної політики в економічній, науково-технічній, військовій сферах, а також сфер безпеки, оборони та сталого розвитку.

• Аналіз ефективності КД на зазначених рівнях оцінок, а також планування космічної діяльності — складова загального завдання керування, яке охоплює розробку планів, оцінку результативності робіт і контроль за їхнім виконанням.

• Аналіз проектів, програм, сценаріїв КД і вибір найефективніших варіантів реалізуються на основі напрацювання критеріїв, що відображають сутність ефективності, а також показників, які слугують засобом виміру та зіставлення ефективності відповідно до критеріїв.

Сформульовані принципи відображають не лише загальні підходи до формування сучасних космічних програм, а й розглядають аналіз ефективності як складову частину процесу керування. Неправомірним вважаємо підхід, згідно з яким є певна затверджена програма або стратегія, і потрібно лише розрахувати ефективність заходів для її досягнення. Принципово важлива також оцінка відповідності її цілей загальнонаціональним завданням і суспільним потребам.

Вибір шляхів досягнення поставлених цілей і відповідних до них пріоритетів космічної діяльності передбачає вибір найефективнішого варіанта з ряду можливих альтернативних. Для цього необхідно побудувати правило кількісного порівняння оцінюваних альтернатив за комплексом різнорідних критеріїв, що можливо шляхом формалізації даної задачі на основі адекватної методичної та математичної платформ. З позицій системного аналізу КД можна класифікувати як «велику» систему, багаторівневий

об'єкт досліджень із багатьма зв'язками. Космічна діяльність спрямована на досягнення багатьох цілей, в результаті задача стає багатокритеріальною та має велику розмірність. У математичному аспекті даний об'єкт слабко структурований (нечітко визначається структура) і слабко формалізується (неможливо побудувати строгу математичну модель, що описує основні властивості об'єкта). Сучасною теорією ухвалення рішень [30] пропонуються підходи до структуризації і моделювання об'єктів даного класу за допомогою виконання процедур цільового та структурно-функціонального аналізу. Визначальною особливістю КД як об'єкта досліджень є також наявність як кількісних (вимірюваних в абсолютних одиницях), так і якісних (що мають вербальний опис) характеристик; в останньому випадку це зумовлює необхідність залучення експертів, збору й обробки суб'єктивної експертної інформації. Здійснюваний експертами перехід від нечітких якісних (вербальних) оцінок до кількісних (як правило, із застосуванням бальних шкал) дає змогу використовувати математичний апарат і забезпечує логіко-кількісну основу рішення задачі оцінювання та вибору альтернатив.

Принципово важливим етапом процесу оцінювання є введення вагових коефіцієнтів, що визначають відносну важливість різних критеріїв. Ця процедура може бути прерогативою особи, яка ухвалює рішення, з урахуванням її розуміння рівня пріоритетності того чи іншого напряму КД.

Отже, схема процедури оцінювання така:

- аналіз проблемної ситуації, побудова системи цілей;
- формулювання або генерація альтернатив;
- визначення критеріїв вибору кращої альтернативи і відповідної системи показників;
- побудова структурної моделі проблеми оцінювання альтернатив;
- визначення відносної значущості критеріїв (їх вагових коефіцієнтів);
- розробка розрахункової схеми визначення інтегральних оцінок ефективності альтернатив за комплексом критеріїв;
- аналітичне порівняння альтернатив і вибір найкращого рішення.

Задача ухвалення рішення щодо оцінки альтернативних проектів має таку постановку: необхідно сформулювати цілі, вибрати відповідну систему критеріїв {**K**}, провести оцінку кожної аль-

тернативи з множини {**A**} за кожним критерієм і знайти найкращу альтернативу **A**, керуючись сформульованим правилом вирішення U, що визначає порядок агрегації (згортки) оцінок за окремими критеріями.

7.6. Критеріальна база оцінювання космічної діяльності

У рамках сформульованого підходу пропонуються дві групи критеріїв і показників, які мають складати основу процесу оцінювання.

Перша група критеріїв (табл. 7.2) використовується для аналізу об'єктів, за якими можна сформувати цілісну картину кількісних і якісних показників, що дають змогу оцінити соціально-економічну ефективність. Такими показниками можуть бути закінчена програма або програма (проект, сценарій), для якої оцінюється прогнозна ефективність.

ТАБЛИЦЯ 7.2. **Система критеріїв оцінювання ефективності космічних програм**

Загальнодержавний пріоритет	Критерії та показники	Вид оцінки, одиниця вимірювання
	1. *Економічні критерії*	
1.1. Підвищення інноваційного потенціалу економіки/упровадження інновацій у галузі економіки	Упровадження інноваційних технологій: • кількість розроблених інноваційних технологій; • прогнозований ефект упровадження в космічну галузь; • прогнозований ефект упровадження в інші галузі економіки; • економія витрат за рахунок використання космічних технологій під час ухвалення управлінських рішень	 Кількість технологій грн грн грн
1.2. Завоювання ринків космічних послуг / експортний потенціал, формування нових внутрішніх ринків (комерціалізація)	Створення нових ринків, видів продукції: • прогнозований обсяг експортної продукції (послуг) галузі; • прогнозований обсяг реалізації продукції (послуг) на нових внутрішніх ринках	 грн грн

Продовження табл. 7.2

Загальнодержавний пріоритет	Критерії та показники	Вид оцінки, одиниця вимірювання
1.3. Підвищення економічних показників підприємств і космічної галузі загалом	Економія коштів за рахунок участі в міжнародних проектах. Економічні показники підприємств: • рівень обсягів виробництва, реалізації нової продукції; • чистий дисконтований дохід; • рівень рентабельності; • індекс прибутковості; • рівень фондовіддачі; • інші	грн грн грн % % %
	2. *Науково-технічні критерії*	
2.1. Підвищення рівня наукових знань у конкретних галузях	• Значимість і новизна результатів; • висування проривних ідей і рішень; • стимулювання нових міждисциплінарних напрямів	Експертна
2.2. Підвищення загального науково-технічного і технологічного рівня галузей економіки, сфер керування, оборони і безпеки, освіти, природокористування	• Розробка наукових основ проривних технологій (можливість отримання наукомісткої інноваційної продукції); • рівень наукоємності розроблених технологій і видів продукції за рахунок упровадження результатів космічних проектів; • рівень упровадження науково-методичних розробок з використанням космічної інформації і технологій в: ✓ освітньому процесі; ✓ підвищенні кваліфікації фахівців; ✓ дослідно-конструкторських і технологічних розробках галузей	Експертна
2.3. Підвищення рівня науково-технічних послуг	• Рівень використання нових знань, технологій та інформації в: ✓ наданні послуг (навігація, позиціонування, спостереження Землі, телекомунікації); ✓ системах стандартизації, метрології, контролю якості; ✓ інформаційних системах; ✓ науково-технічному консультуванні («космічні складові» у технологічній і нормативній документації відповідних сервісів)	Експертна

Продовження табл. 7.2

Загальнодержавний пріоритет	Критерії та показники	Вид оцінки, одиниця вимірювання
	3. *Критерії сфери оборони та безпеки*	
3.1. Сприяння зміцненню оборонного потенціалу	• Новітні зразки ракетної техніки оборонного призначення; • новітні технології подвійного призначення; • забезпечення інформацією про стан і характеристики військових формувань, військових і стратегічних об'єктів в країні та інших державах тощо	Експертна
3.2. Підвищення рівня безпеки життєдіяльності	• Зниження ризиків продовольчої, енергетичної, інформаційної небезпеки, природного лиха і техногенних катастроф; • поліпшення керування кризовими операціями; • зниження витрат на заходи щодо запобігання небезпечним ситуаціям; • кількість упроваджених нових атестованих методик, сервісів	Експертна грн Кількість методик, сервісів
	4. *Критерії сталого розвитку*	
4.1. Підвищення якості екологічного моніторингу (забруднення довкілля, міські агломерації, біорізноманіття тощо) 4.2. Нові можливості контролю ресурсів і раціонального природокористування 4.3. Підвищення якості прогнозування погоди	• Зниження ризиків, пов'язаних з екологічними проблемами; • підвищення надійності оцінок і прогнозів за рахунок використання супутникових даних; • удосконалення процесу ухвалення рішень за рахунок використання космічної інформації; • кількість упроваджених нових атестованих методик, сервісів	Експертна Кількість методик, сервісів
	5. *Критерії соціальної сфери*	
5.1. Рівень життя громадян	• Створення нових робочих місць; • кількість і рівень послуг, що поліпшують якість життя, забезпеченість сучасними цифровими послугами зв'язку, мовлення, передавання даних, навігації;	Кількість робочих місць Кількість послуг

Закінчення табл. 7.2

Загальнодержавний пріоритет	Критерії та показники	Вид оцінки, одиниця вимірювання
	• підвищення кваліфікації; • поліпшення умов праці; • підвищення рівня освіти та обізнаності громадян щодо переваг застосування сервісів з космічною інформацією, участь в їх використанні	Експертна
5.2. Вплив на молоде покоління	• Залучення учнівської молоді в освітні та дослідні програми; • популяризація нових світоглядних знань і унікальних результатів космічної діяльності; • кількість і рівень нових освітніх і навчальних програм	Експертна Кількість програм Експертна
	6. *Критерії сфери зовнішньої політики*	
6.1. Рівень міжнародного співробітництва 6.2. Престиж і політична значимість держави, регіональне лідерство	• Кількість міжнародних договорів і угод у галузі космічної діяльності; • кількість міжнародних проектів, у яких бере участь Україна; • наукова і технологічна значимість проектів	Кількість договорів, угод, проектів Експертна

На основі аналізу концептуальних і стратегічних документів, у яких відображена або мається на увазі роль космічної діяльності в Україні, сформульовано перелік критеріїв, що має ієрархічну структуру (див. розділ 6) [31].

Верхній рівень оцінювання характеризує внесок космічної програми в досягнення загальнодержавних пріоритетних завдань. Цей внесок оцінюється за системою найзагальніших критеріїв: економічного розвитку, науково-технічної та соціальної сфер, сталого розвитку, оборони, безпеки, зовнішньополітичних завдань. Ці загальні критерії характеризуються сукупністю показників, що ілюструють конкретний внесок космічної діяльності. Для кожного показника створюється відповідна шкала оцінювання, яка ґрунтується на кількісних або якісних значеннях.

Наведені показники, на думку автора, відображають сутність очікуваних ефектів у кожній сфері діяльності. Так, економічний

ефект охоплює не тільки підвищення доходів підприємств від продажу космічної продукції і послуг, а й доходи від упровадження інновацій (непрямий ефект), а також можливий ефект від формування нових ринків, включаючи закордонні. Останній фактор ілюструє один із важливих пріоритетів української ракетно-космічної галузі. Зазначені показники мають різні метрики: економічні передбачається розраховувати у грошових одиницях; деякі показники виражають кількісно (коли це можливо), якісні показники слугують підставою для експертних оцінок.

Друга група критеріїв. З огляду на тривалість підготовки, реалізації та упровадження космічних проектів і програм важливою є оцінка проміжних результатів робіт, а також ухвалення рішень щодо доцільності їхнього продовження або коригування. Крім того, складові частини виконуваних робіт (результати досліджень, науково-технічні рішення, макети, інформаційні технології) можуть мати самостійне значення і оцінюватися на поточному етапі. Існують специфічні проекти, соціально-економічний ефект від реалізації яких очікується в далекому майбутньому або вельми опосередковано. Наприклад, створення місячної бази, підготовка пілотованих польотів тощо, тобто випадки, коли ОПР ухвалюється рішення забезпечити пріоритет у визначеному секторі космонавтики. Іншими видами робіт є інфраструктурні проекти (будівництво пускових майданчиків, універсальних випробувальних стендів, полігонів тощо), реалізація яких спрямована на нарощування потенціалу космічної галузі. Для таких типів проектів оцінка ефективності проводиться на основі моніторингу поточних показників їхнього виконання (обсяг виконаних робіт, рівень якості, терміни). У зарубіжній літературі застосовується термін «ефективність роботи з агентством», який відображає міру виконання завдання, поставленого урядом перед космічним агентством. У подібних випадках для аналізу результативності робіт пропонується використовувати групу критеріїв з табл. 7.3.

Оцінювання космічних проектів (програм, сценаріїв) за наведеними в табл. 7.2 або 7.3 критеріями передбачає отримання та порівняння інтегральних (за комплексом критеріїв) оцінок альтернатив. Загалом мають сенс і абсолютні показники за окремими критеріями (у першу чергу економічними), однак коректне рішення щодо вибору найкращої альтернативи вимагає їх зіставлення за усіма критеріями.

Т А Б Л И Ц Я 7.3. **Система критеріїв оцінювання поточних космічних проектів**

№ з/п	Критерії
	Економічні критерії
1	Рівень фактичного фінансування проекту (визначається співвідношенням планового та фактичного фінансування за звітний період, скорегованого на коефіцієнт ритмічності надходження (використання) коштів)
2	Обсяг виконаних робіт у натуральному вигляді: склад продукції (співвідношення план/факт для кінцевого продукту), оцінка відсотка виконання обсягу робіт для перехідного етапу
3	Рівень якості (відповідно до вимог ТЗ)
4	Прогнозна оцінка подорожчання кінцевої вартості робіт стосовно запланованого обсягу випуску додаткової продукції, не передбаченої ТЗ
5	Прогнозна оцінка переносу термінів закінчення робіт за проектом
	Науково-технічні критерії
6	Фактичний науково-технічний рівень кінцевої продукції відносно заявленого у процесі підготовки пропозиції
7	Ступінь актуальності завдань, вирішених у ході виконання проекту, відносно заявленого
8	Ступінь інноваційності проекту загалом і розробок, виконаних під час реалізації проекту
	Критерії гуманітарної сфери
9	Ступінь впливу результатів проекту на популяризацію космонавтики, залучення молоді до сфери космічної діяльності
10	Використання результатів проекту в навчальних програмах, тренінгах, у розробці нових методик навчання
11	Рівень міжнародних контактів під час виконання проекту, популяризації досягнень України на міжнародних форумах, конференціях, симпозіумах

Багатокритеріальне порівняння та вибір ефективних альтернатив є центральним завданням теорії ухвалення рішень, у рамках якої напрацьовано різні підходи. На підставі попередніх досліджень було зроблено висновок щодо найбільшої релевантності методу аналізу ієрархій (МАІ) і запропоновано власний варіант застосування модифікації цього методу до оцінки космічних проектів і програм [10, 11, 31].

За МАІ початковим етапом є побудова ієрархічної структурної моделі задачі оцінювання. У нашому випадку основу такої моделі становлять сформульовані вище цілі (верхній рівень ієрархії) і система критеріїв (табл. 7.2 або 7.3), які, залежно від спе-

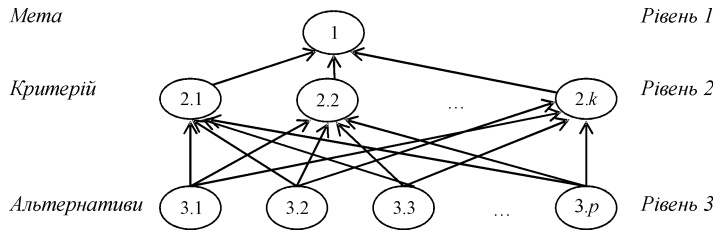

Рис. 7.2. Схема структурування задачі оцінювання альтернатив (k — кількість критеріїв, p — кількість альтернатив)

цифіки предметної області, можуть займати один або кілька ієрархічних рівнів. На найнижньому рівні ієрархії знаходяться оцінювані альтернативи. У загальному найпростішому випадку структурна модель задачі оцінювання може бути проілюстрована схемою трирівневої ієрархії, наведеної на рис. 7.2.

За цією схемою розраховується вага об'єктів усіх ієрархічних рівнів. Визначення ваги дає змогу лінійно впорядкувати (ранжувати) об'єкти кожного рівня та кількісно оцінити їхню порівняльну цінність. Це допомагає предметно інтерпретувати порівняльну важливість кожного об'єкта ієрархії, наприклад, для рівня 2 (рис. 7.2) визначити критерій, який робить найбільший внесок у досягнення мети, найменший внесок тощо.

На нижньому рівні ієрархії проводиться попарне порівняння оцінюваних проектів за кожним із критеріїв і простими формулами розраховується вага альтернатив для кожного з критеріїв.

Заключний етап процедури оцінювання — розрахунок узагальнених оцінок ефективності проектів за формулою лінійної згортки:

$$Y_s = \sum_{q=1}^{k} \widehat{\omega}_q \widehat{y}_{sq},$$

де Y_s — оцінка s-го проекту, $s = 1, ..., p$; $\widehat{\omega}_q$ — вага q-го критерію відносно мети; $q = 1, ..., K$; $\widehat{y}_{sq}$ — важливість s-й альтернативи за q-м критерієм. За найефективнішу вибирається альтернатива з індексом s, що має максимальне значення інтегральної оцінки $Y_s = \max$.

Наведена схема оцінювання не є єдиною можливою та ілюструє вподобання автора. Очевидно, що загальноприйнятої оптимальної схеми не існує, оскільки у разі багатокритеріального

оцінювання роль інтуїції або вподобань експерта може бути вирішальною. Водночас необхідні загальний підхід експертів до проблеми, що розглядається, одна система критеріїв і вагових множників. До того ж корисним потрібно вважати й усвідомлення дієвості принципу Парето (80/20), згідно з яким невелика частка причин, вкладених коштів або докладених зусиль відповідає за більшу частину результатів. Принципово важливим є також узгодження поглядів щодо бажаної майбутньої моделі КД. Тоді обговорення й оцінки стосуватимуться шляхів досягнення та способів оптимізації планових завдань.

ВИСНОВКИ

Чи довго чекати змін на краще?
— Якщо чекати, то довго.
Із розмови учня з Майстром

Космічна діяльність розглядається у цій книзі з точки зору вирішення різноманітних, у тому числі земних, проблем: від світоглядних до сільськогосподарських. Тобто ми задаємося питанням «навіщо?» (Why Space?), вважаючи, що відповіді на питання «як?» і «що?» у подальшому мають природнім чином урахувати мотивацію діяльності загалом.

Пошук відповіді на поставлене запитання складається із двох відносно самостійних сюжетів. Перший — стосується сучасної космічної сфери, її впливу на сучасну науку, економіку, забезпечення безпеки і науково-технічний розвиток. Другий — уведення в розробку космічної стратегії, точніше підстав, на яких цей процес повинен ґрунтуватися. Безумовно, що обидва сюжети спільно слугують розумінням засад стратегічного керування космічною діяльністю. Результатом осмислення повинна стати адекватна оцінка зовнішніх чинників, що змінюються, стану космічного сектору і заходів щодо стратегічного керування.

Така логіка очевидна, оскільки сучасні космічні (як і багато земних) стратегії більшості країн будуються саме на таких засадах. Різниця полягає лише в масштабі діяльності, пріоритетах і технологічному втіленні, а методичні проблеми, що активно обговорюються, — це конкретизація заходів стратегічного керування (йдеться, наприклад, про методи оцінки ефективності, шляхи підвищення віддачі інновацій, інституційні структури керування).

Для України ситуація істотно відрізняється. Успадковані можливості і статус космічної держави визначили неявно виражену, але послідовно втілювану стратегію «збереження потенціалу» та «виходу на міжнародні ринки». Вона не вимагає створення моделей майбутньої діяльності, сценарного аналізу або стратегічного цілепокладання. До того ж власні загальнодержавні інтереси, потреби потенційних споживачів та інноваційна спрямованість залишаються переважно деклараціями.

З цієї причини постановка проблеми, спосіб і контекст розгляду, засновані на відомій системній методології, є актуальними для українських реалій. Це дає право пропонувати викладений підхід (і перелік поставлених запитань) як варіант вихідних положень для космічної стратегії.

Водночас доцільно коротко визначити деякі обмеження та проблеми, що виникли у спробі огляду КД в цілому. Аналізуючи збільшення ролі сучасної КД, автор мимоволі спокушається розглядати її як імператив сучасного розвитку, що виключно позитивно впливає на вирішення глобальних і державних проблем. Проте, як і колишні хвилі технологічних інновацій, КД несе із собою специфічні ризики і не до кінця усвідомлені проблеми. Труднощі із формулюванням цих проблем пов'язані з обмеженим горизонтом передбачення технологічних наслідків КД. Назвемо деякі з проблем КД, які активно обговорюються і не висвітлені у тексті відповідних розділів.

Під час прогнозування найближчих перспектив КД багато аналітиків (особливо у блогосфері) обговорюють перспективи швидкого прориву у космічних технологіях і розвитку індустріалізації космосу. Уряди закликають значно збільшити витрати, залучити приватний капітал і спровокувати швидке нарощування віддачі від використання ресурсів космосу. У зв'язку з цим звернемо увагу на один із висновків наведеного у розділах 2, 3 аналізу: індустріалізації космосу перешкоджає не лише брак вкладень; орбітальні експерименти довели, що діяльність у космосі поки що не вийшла за межу експериментальної стадії. Ми ще не оволоділи основами технологій, зіткнулися із фундаментальними складнощами, а практична діяльність на орбіті зводиться значною мірою до забезпечення умов перебування космонавтів.

Має сенс зіставити з цим висновком один із трендів сучасного освоєння космосу: побудова місячної бази і пілотована місія на Марс. На думку багатьох фахівців космічної галузі (переважно в Європі та Японії), відмова у найближчі роки від «рутинного» відпрацювання космічних технологій на навколоземній орбіті не пришвидшить практичне освоєння космосу. Це важливе питання вимагає обговорення у процесі напрацювання національної стратегії.

Ще одна проблема глобального погляду на розвиток КД пов'язана зі збільшенням нерівномірності розробки і застосування проривних технологій у різних країнах, ознаками нової гонки в космосі. Ще недавно світове співтовариство із задоволенням визнавало безпрецедентний рівень міжнародного співробітництва в космосі (Союз—Аполлон, МКС, численні наукові проекти) як зразок для організації спільної роботи в інших сферах.

Останніми роками чітко проявляються тенденції до домінування в космічних справах, які можна виявити в офіційних стратегічних документах. У зв'язку з цим реальним бачиться загострення глобальної нерівності, наслідки якої можна порівняти з поділом на бідні й багаті країни, що виник як результат промислової революції. Тому вибір власної технологічної ніші і партнерів по кооперації має важливі наслідки не тільки для розвитку космічної галузі.

Звернемо увагу на проблеми бурхливого розвитку космічних інформаційних і комунікаційних технологій. Найближчим часом продовжиться швидке зростання обсягів переданої інформації, виникнення нових сервісів на основі засобів супутникових систем спостереження, позиціонування та передавання інформації. На сьогодні ця сфера революціонізувала глобальний бізнес, банківську сферу, керування воєнними і рятувальними операціями, моніторинг надзвичайних ситуацій; до світу Big Data залучається величезна кількість пересічних користувачів. Зворотний бік цієї інформаційної глобалізації — почастішали вторгнення в керування небезпечними об'єктами, у виборчий процес і маніпулювання особистими даними. Деякі уряди серйозно розглядають можливість обмеження чи контролю за супутниковим інтернетом, хоча безперспективність цієї боротьби очевидна. Розробка технічних заходів протидії цьому виклику,

включаючи наземно-космічні засоби, особливо актуальна в умовах гібридної агресії.

Зазначені проблеми та ризики мають відношення до найзагальнішої постановки питання про пріоритети та вибори базових сценаріїв. Існує невизначеність і безліч ризиків іншого рівня (організаційні, кадрові, технологічні), які виникають під час декомпозиції мети і вироблення напрямів реалізації сценаріїв. Урахування ймовірних невизначеностей і ризиків є принципово важливим для інтегральної оцінки ефективності напрацьованого сценарію та планів щодо його втілення. Зазначимо, що аналіз ефективності починається до початку реалізації (ще на стадії формулювання цілей), процес вироблення стратегії передбачає неперервний моніторинг, коригування цілей діяльності і шляхів їх досягнення. Продуктом цієї діяльності має стати пакет документів, що регламентує космічну діяльність загалом і є підставою для досягнення поставлених цілей.

На завершення наведемо приблизний перелік документів, які відповідають запропонованій ідеології розробки стратегії. Першим за значенням документом має бути **Стратегія (Концепція) космічної діяльності України**, на період 10—15 років, яка містить оцінку стану КД, основні пріоритети, що відповідають виконанню загальнодержавних завдань, головні завдання та очікувані результати, формулювання складових частин запланованої КД, принципи досягнення поставлених цілей, прогнозний обсяг фінансування та дорожню карту досягнення цілей. Цей документ є основою формування загальнодержавної та інших програм у сфері космічної діяльності і визначає обсяг, пріоритети та суть КД України.

Підготовка документа базується на трьох узгоджених видах роботи. По-перше, готується аналітичний документ **Space Vision**, який містить аргументацію експертів щодо перспектив розвитку можливих пріоритетних напрямів КД, висвітлюючи різні напрями за єдиним планом викладу: досягнення, потенціал, міжнародна співпраця, ефективність напрямів, вирішення загальнодержавних завдань. По-друге, проводиться **анкетування** широкого кола фахівців космічної сфери, які представляють різні співтовариства (наукове, інженерне, університетське, бізнесове). Питання анкети стосуються концептуальних питань стратегії: пріорите-

тів розвитку, обсягу бюджетного фінансування, базових сценаріїв розвитку КД. По-третє, **громадські обговорення** з широким колом учасників, включно із непрофесіоналами, щодо пріоритетів і сценаріїв космічної діяльності.

Цей підхід широко використовується в різних країнах і є запорукою не лише ефективного керування, а й поваги до ухвалених рішень і прозорості подальшого контролю. Керування діяльністю (на відміну від, наприклад, технологічного процесу чи галузевої програми) вимагає розробки методології етапів з урахуванням сучасного досвіду стратегічного керування. Це є проблематикою подальших досліджень, для яких дана книга може слугувати вступом.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

До розділу 1

1. Поппер К. Логика научного исследования. Москва: АТС: Астрель, 2010. 576 с.

2. Линде А.Д. Физика элементарных частиц и инфляционная космология. Москва: Наука, 1990. С. 239—240.

3. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой. Москва: Прогресс, 1986. 431 с.

4. Пенроуз Р. Новый ум короля. М.: URSS, 2010. 398 с.

5. Пенроуз Р. Тени разума. В поисках науки о сознании. Москва; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2005. 687 с.

6. Поппер К. Предположения и опровержения. Рост научного знания. Москва: АСТ, 2008. 638 с.

7. Хокинг С., Млодинов Л. Высший замысел. Санкт-Петербург: Амфора, 2012. 208 с.

8. Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера. Москва: АЙРИС-пресс, 2009. 576 с.

9. Аристотель. Метафизика. Москва: «Э», 2017. 448 с.

10. Лосев А.Ф. Античный космос и современная наука. Москва: Изд-во МГУ, 1969. 323 с.

11. Кант. Всеобщая естественная история и теории неба. Москва: Директ-Медиа, 2002. 265 с.

12. Эбелинг В., Файстель Р. Хаос и космос. Синергетика эволюции. Москва; Ижевск: ИКИ; НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2005. 336 с.

13. Пригожин И., Стенгерс И. Время, хаос, квант. К решению парадокса времени. Москва: Книжный дом «Либроком», 2009. 232 с.

14. Born M. The Born-Einstein letters. N-Y: Walker, 1971, 82 p.

15. Про Коллапс волновой функции. Без кавычек. [Электронный ресурс]. Live journal. Режим доступа: http://djames. livejournal.com/1200.html (дата звернення 16.10 2018).

16. Crik F.H.C. Thinking about the Brain. Scientific American. 1979. Vol. 241. P. 181—188.

17. Mountcastle V. Perceptual Neuroscience: The Cerebral Cortex. Cambridge: Mass.: Roberts and Co., 2004.

18. Серл Д. Открывая сознание заново; пер. с англ. А.Ф. Грязнова. Москва: Идея-Пресс, 2002. 256 с.

19. Роуз С. Устройство памяти. От молекул к сознанию; пер. с англ. Москва: Мир, 1995. 384 с.

20. Хоккинс Дж. Бейкли С. Об интеллекте. Москва; Санкт-Петербург; Киев: ООС. И. Д. «Вильямс», 2007. 240 с.

До розділу 2

1. Space Research Today. COSPAR's Information Bulletin, August 2009. N 175. 126 p.

2. Uberini P., Gehrels N., Corbett I. et al. Future of Space Astronomy: A global Road Map for next decades (review). Advances in Space Research. 2012. Vol. 50. P. 1—55.

3. The Global Exploration Roadmap. January 2018. 36 p. URL: https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/ger_2018_small_mobile.pdf (дата звернення 29.10.2018).

4. Ehrenfreud P., McKay C., Rummel J. et al. Toward a global space exploration program: a stepping stone approach. Advances in Space Research. 2012. Vol. 49, Iss. 1. P. 2—48.

5. Космічні дослідження в Україні. НКАУ. 1998—2000, 2000—2002, 2002—2004, 2004—2006, 2006—2008; НАНУ, Київ: Академперіодика, 2008—2010.

6. Гинзбург В.Л. «Физический минимум» на начало XXI века. URL: http://old.elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/25524/25528 (дата звернення 29.10.2018).

7. Bignami G., Cargill P., Schutz B. and Turon C. Cosmic Vision. Space Science for Europe 2015—2025. URL: http://www.esa.int/esapub/br/br247/br247.pdf (дата звернення 29.10.2018).

8. Мирошниченко Л.И. Физика Солнца и солнечно-земных связей: уч. пособие; под ред. М.И. Панасюка. Москва: Университетская книга, 2011. 174 с.

9. URL: http://www.eumetsat.int/website/home/Satellites/CurrentSatellites/Meteosat/index.html) (дата звернення 29.10.2018).

10. URL: https://www.esa.int/Our_Activities/Operations/Space_Situational_Awareness/About_SSA (дата звернення 29.10.2018).

11. URL: http://www.swpc.noaa.gov/NOAAscales (дата звернення 29.10.2018).

12. URL: https://www.nasa.gov/feature/nasa (дата звернення 29.10.2018).

13. Гохберг М.Б., Пилипенко В.А., Похотелов О.А. Наблюдения со спутника электромагнитного излучения над эпицентральной областью готовящегося землетрясения. Докл. АН СССР. 1983. Т. 268, № 1. С. 56—58.

14. Федоренко А.К., Лизунов Г.В., Роткель Х. Спутниковые наблюдения квазиволновых возмущений атмосферы на высотах области F, вызванных мощными землетрясениями. Геомагнетизм и аэрономия. 2005. Т. 45, № 3. С. 403—410.

15. Ямпольский Ю.М., Зализовский А.В., Литвиненко Л.Н. и др. Вариации магнитного поля в Антарктике и сопряженном регионе (Новая Англия), стимулированные циклонической активностью. Радиофизика и радиоастрономия. 2004. Т. 9, № 2. С. 130—151.

16. Henderson T.R., Sonwalkar V.S., Helliwell R.A. et al. A Search for ELF/VLF Emissions Induced by Earthquakes as Observed in the Ionosphere by the DE-2 Satellite. J. Gephys. Res. 1993. Vol. 98, N A6. P. 9503—9514.

17. Korepanov V., Hayakawa M., Yampolski Yu., Lizunov G. AGW as Seismo-Ionospheric Coupling Response. Phys. Chem. of the Earth. 2009. Vol. 34. P. 485—495.

18. Molchanov O.A., Mazhaeva O.A., Goliavin A.N., Hayakawa M. Observation by the Intercosmos-24 Satellite of ELF-VLF Electromagnetic Emissions Associated with Earthquakes. Ann. Geophys. 1993. Vol. 11. P. 431—440.

19. Pfaff R.F. Measurement Techniques in Space Plasmas. Ed. R.F. Pfaff, J.E. Borovsky, D.T. Young. AGU. 1998. P. 355.

20. Feuerbacher B., Stoewer H. Utilization of Space. Today or Tomorrow. Berlin: Springer, 2006. 410 p.

21. Космическое материаловедение. Введение в научные основы космической технологии; под ред. Б. Фойербахера, Г. Хамахера, Р. Наумана. Москва: Мир, 1989. 478 с.

22. Гришин С.Д., Лесков Л.В. Индустриализация космоса. Проблемы и перспективы. Москва: Наука, 1988. 352 с.

23. Иванов Л. И., Земсков В. С., Кубасов В. И. и др. Плавление, кристаллизация и фазообразование в невесомости. Москва: Наука, 1989. 256 с.

24. Регель Л.Л. Итоги науки и техники. Серия «Исследование космического пространства». Москва: ВИНИТИ, 1990. Т. 34. Ч. 3: Космическое материаловедение. 333 с.

25. Труды Первой российской конференции по космическому материаловедению (Калуга, 1999 г.). Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2001. № 9. 128 с.

26. Looking up: Europe's Quiet Revolution in Microgravity Research. New York: Scientific American. 2008. 101 p. URL: https://www.scientificamerican.com/media/pdf/ESAReader_LowRes.pdf (дата звернення 29.10.2018).

27. URL: https://www.nasa.gov/directorates/heo/slpsra/islswg.html (дата звернення 29.10.2018).

28. Космическая биология и медицина: в 5 т. Т. 1: Космос и его освоение. Москва: Наука; Вашингтон: AIAA, 1994. 526 с.; Т. 2: Обитаемость космических летательных аппаратов. Москва: Наука, Вашингтон, 1994. 599 с.

29. ESA's Report to the 41st COSPAR Meeting, (ESA SP-1333, 2016). URL: https://www.esa.int/About_Us/ESA_Publications/ESA_Publications_Monographs/ESA_SP-1333_ESA_s_Report_to_the_41th_COSPAR_meeting (дата звернення 29.10.2018).

30. URL: https://www.iss-casis.org/research-on-the-iss/areas-of-research/life-sciences/ (дата звернення 29.10.2018).

31. The Next Steps in Exploring Deep Space; ed. W. Huntress. Univercities Press (India), IAA, 2007. 146 p.

32. Феоктистов К. Траектория жизни. Москва: Вагриус, 2000. 380 с.

33. The Future of European Space Exploration. Towards a European Long-Term Strategy. URL: https://sci.esa.int/science-e/www/object/doc.cfm?fobjectid=45512 (дата звернення 29.10.2018).

34. New Worlds, New Horizons. A Midterm Assessment. Committee on the Review of Progress Toward the Decadal Survey Vision in New Worlds, New Horizons in Astronomy and Astrophysics. 2016. 122 p. URL: https://www.nap.edu/read/23560/chapter/1 (дата звернення 29.10.2018).

До розділу 3

1. Communication from the Commision to the European parlament, the Council, the European economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Space Strategy for Europe. European Commission, Brussels, 26.10.2016. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/txt/?uri=celex:52016dc0705 (дата звернення 13.10.2018).

2. Simmons A., Fellous J., Ramaswamy V et al. Observation and integrated Earth-system science: A roadmap for 2016—2025. Advances in Space Research. 2016. Vol. 57. N 10. P. 2037—2103.

3. Global Earth Observation System of Systems GEOSS, 10-year Implementation Plan. ESA, 2005. URL: http://earthobservations.org/documents/10-Year%20Implementation%20Plan.pdf (дата звернення 09.11.2018).

4. Nativi S., Mazzetti P., Santoro M., Ochiai O. Big Data challenges in building the Global Earth Observation System of Systems. Environmental Modelling and Software. 2015. Vol. 68. P. 1—26.

5. Indicators and a Monitoring Framework for the Sustainable Development Goals. Launching a data revolution for the SDGs. A report by the Leadership Council of the Sustainable Development Solutions Network Revised working draft (Version 7). 2015. URL: http://unsdsn.org/wp-content/uploads/2015/05/FINAL-SDSN-Indicator-Report-WEB.pdf (дата звернення 09.11.2018).

6. URL: https://ecoruspace.me.html.

7. Малые спутники привели к взрывному росту рынка спутников ДЗЗ. Пресс-центр компании «Совзонд». URL: https://sovzond.ru/press-center/news/corporate/4691/ (дата звернення 09.11.2018).

8. Кучейко А. Мировая отрасль космической съемки в итогах запусков спутников ДЗЗ в 2016 году и результаты первого квартала 2017 года. Земля из космоса. 2017. № 8 (24). С 44—59. URL: http://www.zikj.ru/images/no_24/ZIK24_full-ilovepdf-compressed.pdf (дата звернення 01.10.2018).

9. CEOS Earth Observation Handbook. 2018. URL: http://www.eohandbook.com/ (дата звернення 01.10.2018).

10. Дворкин Б.А., Дудкин С.А. Новейшие и перспективные спутники дистанционного зондирования Земли. Геоматика. 2016. URL: http://geomatica.ru/clauses/130/ (дата звернення 01.10.2018).

11. Earth Observations for Official Statistics. Satellite Imagery and Geospatial Data Task Team Report. United Nations, Australian Bureau of Statistics, Queensland University of Technology, Australia, Queensland Government, Australia, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Australia, European Commission — DG Eurostat National Institute of Statistics and Geography, Mexico, Statistics Canada. 5th December 2017. 170 p. URL: https://unstats.un.org/bigdata/taskteams/satellite/UNGWG_Satellite_Task_Team_Report_WhiteCover.pdf (дата звернення 01.10.2018).

12. WMO/CEOS Report on a strategy for integrating satellite and ground-based observations of ozone. 2001. WMO TD No. 1046, P. 128. URL: https://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/reports/pdf/gaw140.pdf (дата звернення 01.10.2018).

13. Руководство по Глобальной системе наблюдений ВМО-№ 488. Третье издание 2010. URL: https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_488-2013_ru.pdf (дата звернення 01.10.2018).

14. Feuerbacher B., Stoewer H. Utilization of Space. Today or Tomorrow. Berlin: Springer, 2006. 410 p.

15. Ashford E.W. Satellite Parameters Dossier. Space Communications and Broadcasting. Elsevier Science Publishers B.V, 1986.

16. Бабишева Е.Е. Экономика и качество систем связи. 2017. № 3. Перспективы развития спутниковой связи. URL: https://cyberleninka.ru/article/v/perspektivy-razvitiya-sputnikovoy-svyazi (дата звернення 01.10.2018).

17. http://www.tadviser.ru/index.php.

18. Eissfeller B., Tiberius C., Pany T. and Heinrichs G. Real-time kinematic in the light of GPS modernisation and Galileo. Galileo's World, Autumn 2002. P. 28—34.

19. Hofmann-Wellenhof B., Legat K., and Wieser M. Navigation. Principles of Positioning and Guidance. Springer, Wien / New York, 2003. 40 p.

20. Misra P. and Enge P. Global Positioning System. Signals, Measurements, and Performance. Ganga-Jamuna Press Lincoln, Mass. 2001. 390 p.

21. Parkinson B.W. and Spilker J.J. Global Positioning System: Theory and Applications. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., Washington, DC. 1996. Vol. 1—2. 791 p.

22. The EU Dual Approach to Security and Space. Twenty Years of European Policy Making. ESPI Report 45, 2013. URL: https://www.files.ethz.ch/isn/168797/ESPI_report_45.pdf (дата звернення 12.11.2018).

23. The European Security and Defence Policy. Federal Foreign Office. Federal Ministry of Defence. URL: https://www.auswaertiges-amt.de/blob/1337496/ed8676e37515e39486ba8fe1f562c2b3/the-european-security-and-defense-policy-data.pdf (дата звернення 12.11.2018).

24. Resolution on the European Space Policy. ESA Director General's Proposal for the European Space Policy. ESA Communications, 2007. 37 p. URL: http://www.esa.int/esapub/br/br269/br269.pdf (дата звернення 12.11.2018).

25. Логинов А.Е. Космос как стратегический приоритет в борьбе за мировое экономическое лидерство. Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2010. № 25. С. 52—61. URL: https://cyberleninka.ru/ (дата звернення 12.11.2018).

26. Лузин П. Военный космос: перспективы и вызовы. Новый Оборонный Заказ. Стратегии. 2017, № 4 (46). URL: https://dfnc.ru/kosmos/ (дата звернення 12.11.2018).

27. Босиков Р. Освоение космоса как инструмент мягкой силы. Наука и техника. 26 апреля 2017. URL: http://naukatehnika.com/nauka/ (дата звернення 12.11.2018).

28. Oberg J. Space Power Theory. US Air Force Academy, 1999. 172 p. URL: http://space.au.af.mil/books/oberg/ (дата звернення 12.11.2018).

29. Taverney T. Space Force: it's time to act. Spacereview. October 1, 2018. URL: http://www.thespacereview.com/ (дата звернення 12.11.2018).

30. Lorrey M. The legal mandate for a US Space Force. Spacereview. October 1, 2018. URL: http://www.thespacereview.com/ (дата звернення 12.11.2018).

До розділу 4

1. Gurtuna O. Fundamentals of Space Business and Economics. SpringerBriefs in Space Development. New York: Springer, 2013. 85 p.

2. Райнерт Э. Как богатые страны стали богатыми, и почему бедные страны остаются бедными; пер. с англ. Н. Автономовой; под ред. В. Автономова. Москва: Издат. дом Гос. ун-та — Высш. шк. экономики, 2011. 282 с.

3. Schumpeter J. Theory of economic Development: an inquiry into profits, capital, credit, interest and the business cycle. Cambridge (Mass.): Harvard University Press, 1934. 255 p.

4. Perez C. Technological Revolution and Financial Capital: The Dynamics of Bubbles and Golden Ages. Edward Elgar Publishing, Cheltenham, UK. 2002. 198 p.

5. OECD Handbook on Measuring the Space Economy. OECD Publishing. 2012. 108 p. URL: https://www.oecd-ilibrary.org/economics/oecd-handbook-on-measuring-the-space-economy_9789264169166-en (дата звернення 16.10.2018).

6. Space Foundation in The Space Report 2015: The Authoritative Guide to Global Space Activity. Colorado Springs, CO: Space Foundation, 2015. URL: https://spaceportcamden.us/download/The_Space_Report_2015_Overview_TOC_Exhibits.pdf (дата звернення 16.10.2018).

7. The Space economy at a Glance. OECD Publishing, 2014. 144 p. URL: http://www.oecd-ilibrary.org/economics/the-space-economy-at-a-glance-2014_9789264217294-en (дата звернення 16.10.2018).

8. Space Foundation Index Performance for First Quarter 2014. URL: https://www.spacefoundation.org/news/space-foundation-index-performance-first-quarter-2014 (дата звернення 16.10.2018).

9. Prospects for Space Exploration. Forecasts to 2027. 1st Edition | A Euroconsult Executive Report. Brochure 2018. URL: http://euroconsult-ec.com/research/space-exploration-2018-brochure.pdf (дата звернення 16.10.2018).

10. Space Policies, Issues and Trends in 2012—2014. ESPI Report 49, November 2014. URL: https://www.files.ethz.ch/isn/187010/ESPI_Report_49.pdf (дата звернення 16.10.2018).

11. Space and the Processes of Innovation. ESPI Report 43, July 2012. URL: https://espi.or.at/publications/espi-public-reports/category/2-public-espi-reports (дата звернення 16.10.2018).

12. The Case for Space 2015. The impact of space on the UK economy. A study for the Satellite Applications Catapult, inovate UK, UK space and the UK Space Agency. Full Report. London economics, 2015. URL: http://www.ukspace.org/wp-content/uploads/2015/07/LE-Case-for-Space-2015-Full-Report.pdf (дата звернення 16.10.2018).

13. Charting a path for the space industry's growth. The Space Review, July 9, 2018. URL: http://www.thespacereview.com/article/3530/1 (дата звернення 16.10.2018).

14. Global space industry dynamics. Research paper for Australian Government, Department of Industry, Innovation, and Science. Alexandria, VA: Bryce

Space and Technology LLC, 2017. 27 p. URL: https://brycetech.com/downloads/Global_Space_Industry_Dynamics_2017.pdf (дата звернення 16.10.2018).

15. Oberg J. Space Power Theory. USAFA, CO: US Air Force Academy, 1999. 172 p.

16. Яник А.А. К концепции «космической экономики». Тренды и управление. 2018. № 1. С. 51—66. URL: http://e-notabene.ru/ptu/article_25708.html (дата звернення 16.10.2018).

17. Jonas A., Sinkevicius A., Flannery S. et al. Space: Investment Implications of the Final Frontier. Morgan Stanley Research. 2017. 59 p. 82 p. URL: https://fa.morganstanley.com/griffithwheelwrightgroup/mediahandler/media/106686/Space_%20Investment%20Implications%20of%20the%20Final%20Frontier.pdf (дата звернення 16.10.2018).

18. To Infinity and Beyond — Global Space Primer. Bank of America Merrill Lynch, October 30, 2017. 101 p. URL: https://go.guidants.com/q/db/a2/1e1ffc185c1d44bd.pdf (дата звернення 16.10.2018).

19. Прокопенкова И.О. Коммерческий сектор в мировой космической деятельности — тенденции и перспективы. Проблемы национальной стратегии. 2017. № 4 (43). С. 125—151.

20. Start-Up Space. Update on Investment in Commercial Space. Ventures. Alexandria, VA: Bryce Space and Technology, 2017. 34 p. URL: https://brycetech.com/downloads/Bryce_Start_Up_Space_2017.pdf (дата звернення 16.10.2018).

21. Cohendet P. Evaluating the industrial indirect effects of technology programmes: the case of the European Space Agency (ESA) programmes. In Proc.: OECD Conference on policy evaluation in innovation and technology, Paris, 26-27 June 1997. P. 189—223.

22. Bach L., Cohendet P., Schenk E. Technological Transfers from the European Space Programs: A Dynamic View and Comparison with Other R&D Projects. Journal of Technology Transfer. 2002. Vol. 27 (4). P. 321—338.

23. Малицкий Б.А. Наука, технологии, инновации и национальная безопасность: теоретические и прикладные аспекти. Макаров: КЖТ «София», 2014. 58 с.

До розділу 5

1. Про космічну діяльність: Закон України від 15.11.96 р. № 503/96-ВР. Відомості Верховної Ради України (ВВР). 1997. № 1. С. 2. URL: http://zakon.rada.gov.ua (дата звернення 26.10.2018).

2. Про затвердження Загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми України на 2008—2012 роки: Закон України від 30.09.2008 р. № 608-VI. Відомості Верховної Ради України (ВВР). 2009. № 12. С. 148. URL: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/608-17 (дата звернення 26.10.2018).

3. Про затвердження Загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми України на 2013—2017 роки: Закон України № 439-VII від 5 вересня 2013 року № 439-VII. Відомості Верховної Ради України (ВВР). 2014. № 20—21. С. 725. URL: http://zakon.rada.gov.ua (дата звернення 26.10.2018).

4. Космічне право України: Збірник національних і міжнародних правових актів. Вид. 4-те, переробл. та допов.; ред. колегія: Н.Р. Малишева, О.Й. Сердюк, Ю.С. Шемшученко. Київ: Атіка, 2004. 400 с.

5. Про державну підтримку космічної діяльності: Закон України від 16.03.2000 р. № 1559-III. Відомості Верховної Ради України (ВВР). 2000. № 22. С. 172. URL: http://zakon.rada.gov.ua (дата звернення 26.10.2018).

6. Про Національний центр керування та випробувань космічних засобів: Указ Президента України от 12.08.1996 р. № 698/96. URL: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/698/96l (дата звернення 26.10.2018).

7. Концепція структурної перебудови і інноваційного розвитку космічної галузі. Затверджено Указом Президента України від 06.02.2001 р. № 73/2001. URL: http://zakon.rada.gov.ua/rada/show/ru/73/2001/sp:max100 (дата обращения 26.10.2018).

8. Про заходи щодо подальшого розвитку космічних технологій: Указ Президента України від 04.03.1997 р. № 202/97. URL: http://zakon.rada.gov.ua/rada/show/202/97 (дата звернення 26.10.2018).

9. Про створення Єдиної супутникової системи передачі інформації: Постанова Кабінету Міністрів України від 02.12.1996 р. № 1434. URL: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1434-96-%D0%BF (дата звернення 26.10.2018).

10. Про реалізацію заходів щодо вдосконалення космічних технологій: Постанова Кабінету Міністрів України від 28.06.1997 р. № 649. URL: http://zakon.rada.gov.ua/rada/show/649-97-%D0%BF (дата звернення 26.10.2018).

11. Їльченко М.Ю. Космічні дослідження та розробки Київської політехніки. Космічні дослідження в Україні. 2014—2016. Київ: Академперіодика, 2016. С. 232—239.

12. Space Research Today. COSPAR's Information Bulletin, August 2009. N 175. 126 p.

13. Космічні дослідження в Україні. НКАУ. 1998—2000, 2000—2002, 2002—2004, 2004—2006, 2006—2008; НАНУ, Київ: Академперіодика, 2008—2010, 2010—2012, 2012—2014, 2014—2016. 2016—2018.

До розділу 6

1. Ансофф И. Стратегическое управление; пер. с англ. под ред. Евенко Л.И. Москва: Экономика, 1989. 519 с.

2. Пайсон Д. Космическая деятельность. Эволюция, организация, институты. Москва: URSS. 2013. 311 с.

3. Киселев А., Медведев А., Меньшиков В. Космонавтика на рубеже тысячелетий. Итоги и перспективы. Москва: Машиностроение, 2001. 657 с.

4. Космонавтика XXI века. Попытка прогноза до 2001 года. Москва: РТСФ, 2011. 863 с.

5. Дацюк С. Популярно про стратегію та стратегування-1. Що заважає нам мати стратегію? Українська правда. Блоги. URL: http://https://blogs.pravda.com.ua/authors/datsuk/46fbf98759430/ (дата звернення 13.10.2018).

6. Довгань Л.Є., Каракай Ю.В., Артеменко Л.П. Стратегічне керування: Навчальний посібник. Киев: Центр учбової літератури, 2009. 440 с.

7. White House Releases Fact Sheet on New National Space Strategy. SpacePolicyOnline.com, 2018. URL: https://spacepolicyonline.com/news/white-house-releases-fact-sheet-on-new-national-space-strategy/ (дата звернення 13.10.2018).

8. National Space Policy of the United States of America. June 28, 2010, 14 p. URL: https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/national_space_policy_6-28-10.pdf (дата звернення 13.10.2018).

9. White Paper Space: a new European frontier for an expanding Union. An action plan for implementing the European Space policy. European Communities, Brussels, 2003. 66 p. URL: http://stopwapenhandel.org/sites/stopwapenhandel.org/files/imported/projecten/Europa/lobbyEU/WhitePaperSpace.pdf (дата звернення 13.10.2018).

10. Communication from the Commision to the European parlament, the Council, the European economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Space Strategy for Europe. European Commission, Brussels, 26.10.2016. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/txt/?uri=celex:52016dc0705 (дата звернення 13.10.2018).

11. The Canadian Space Strategy. Canadian Space Agency, 2003. 27 p.

12. Про затвердження Загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми України на 2013—2017 роки: Закон України № 439-VII від 05.09.2013 р. № 439-VII Відомості Верховної Ради України (ВВР). 2014. № 20—21. С. 725. URL: http://zakon.rada.gov.ua (дата звернення 13.10.2018).

13. Про схвалення Концепції реалізації державної політики у сфері космічної діяльності на період до 2032 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.03.2011 р. № 238. URL: http://zakon.rada.gov.ua/ laws/show/238-2011-%D1%80 (дата звернення 13.10.2018).

14. Baker J.C. Non-Proliferation Incentives for Russia and Ukraine. New York: Oxford University Press, 1997. 91 p.

15. The Global Exploration Strategy. The International Space Exploration Coordination Group, 2007. 25 p. URL: http:// www.globalspaceexploration.org (дата звернення 13.10.2018).

16. Стратегія національної безпеки України. Затверджено Указом Президента України від 26.05.2015 р. № 287/2015. URL: http://zakon.rada.gov. ua/laws/show/287/2015 (дата звернення 13.10.2018).

17. Воєнна доктрина України. Затверджено Указом Президента України від 24.09.2015 р. № 555/2015. URL: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555/2015 (дата звернення 13.10.2018).

18. Федоров О.П., Колос Л.Н. Космическая деятельность Украины: подходы к созданию стратегии. Космічна наука і технологія. 2011. Т. 17, № 1. С. 3—11.

19. Nguyen M.-T., Dunn M. Some Methods for Scenario Analysis in Defence Strategic Planning. Canberra, A.C.T.: DSTO, 2009. 37 p. URL: http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a498161.pdf (дата звернення 13.10.2018).

20. Brauers J., Weber M. A New Method of Scenario Analysis for Strategic Planning. Journal of Forecasting. 1988. Vol. 7, N1. P. 31—47.

21. Zgurovsky M. The scenario analysis platform as a methodological base of the national foresight program of Ukraine. Системні дослідження та інформаційні технології. 2003. № 1. С. 7—25.

22. Згуровский М.З., Панкратова Н.Д. Системный анализ: проблемы, методология, приложения. Киев: Наукова думка, 2005. 744 с.

23. Ritchey T. Problem structuring using computer-aided morphological analysis. Journal of the Operational Research Society. 2006. Vol. 57. P. 792—801.

До розділу 7

1. Cost-Benefit Analysis for GMES: Directorate-General for Enterprise & Industry. ISECG: London, September, 2011. 246 p. URL: http://copernicus.eu/sites/default/files/library/ec_gmes_cba_final_en.pdf) (дата звернення 25.10.2018).

2. The Global Exploration Roadmap. ISECG: January, 2018. 36 p. URL: https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/ger_2018_small_mobile.pdf (дата звернення 25.10.2018).

3. Benefits Stemming from Space Exploration. ISECG: September, 2013. 26 p. URL: http://nasa.gov/sites/default/files/files/Benefits-Stemming-from-Space-Exploration-2013-TAGGED.pdf (дата звернення 25.10.2018).

4. Cohendet P. Evaluating the industrial indirect effects of technology programmes: the case of the European Space Agency (ESA) programmes. In Proc.: OECD Conference Policy Evaluation in Innovation and Technology, Paris 26-27 June 1997, P. 189—223. URL: http://www.oecd.org/sti/inno/1907989.pdf (дата звернення 25.10.2018).

5. NASA Receives $19.3 Billion in Final 2016 Spending Bill. Space News, December 16, 2015. URL: http://spacenews.com/nasa-receives-19-3-billion-in-final-2016-spending-bill/#sthash.CucgoVyd.dpuf (дата звернення 25.10.2018).

6. Алпатов А.П, Марченко В.Т., Хорольський П.П., Сазіна Н.П. Методологічні аспекти фінансово-економічного обгрунтування проектів космічної техніки. Космічна наука і технологія. 2014. Т. 20, № 6. С. 49—59.

7. Гусынин В.П., Гольдштейн Ю.М., Дорошкевич В.К. и др. Многокритериальный сравнительный анализ объектов ракетно-космической техники. Космічна наука і технологія. 2005. Т. 11. № 1/2. С. 3—9.

8. Дружинин Е.А., Мазорчук М.С., Цихмистро И.Н. Анализ эффективности государственных целевых программ и оценка влияния их реализации на развитие предприятий. Авіаційно-космічна техніка і технологія. 2003. В. 1. С. 158—163.

9. Колос Л.Н., Воронин А.Н. Технология многокритериальной оценки иерархических структур для оценивания сценариев развития космической отрасли Украины. Проблемы управления и информатики. 2009. № 6. С. 104—113.

10. Самойленко Л.И., Колос Л.Н. Разработка методологии оценивания эффективности космической деятельности. Проблемы управления и информатики. 2015. № 6. С. 132—144.

11. Самойленко Л.И., Яковлева Л.М., Ильенко Т.В. и др. Разработка методологии оценки сценариев в задачах планирования космической деятельности. Часть 1. Проблемы управления и информатики. 2005. № 5. С. 145—156. Часть 2. Проблемы управления и информатики. 2005. № 6. С. 127—131.

12. Федоровский А.Д., Якимчук В.Г., Бондар Е.Н., Козлов З.В. Оценка эффективности космических систем ДЗЗ на основе метода анализа иерархий. Космічна наука і технологія. 2005. Т. 11. № 3/4. С. 75—80.

13. Закон України «Про космічну діяльність» від 15.11.96 р. № 503/96-ВР. Відомості Верховної Ради України (ВВР). 1997. № 1. С. 2. URL: http://zakon.rada.gov.ua (дата звернення 25.10.2018).

14. Закон України «Про затвердження Загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми України на 2008—2012 роки» від 30.09.2008 р. № 608-VI. Відомості Верховної Ради України (ВВР). 2009. № 12. С. 148. URL: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/608-17 (дата звернення 25.10.2018).

15. Концепція структурної перебудови і інноваційного розвитку космічної галузі. Затверджено Указом Президента України від 06.02.2001 р. № 73/2001. URL: http://zakon.rada.gov.ua/rada/show/ru/73/2001/sp:max100) (дата звернення 25.10.2018).

16. Про внесення змін до Закону України «Про інвестиційну діяльність» щодо державних інвестиційних проектів від 23.03.2017 р. № 1981-VIII. Відомості Верховної Ради (ВВР). 2017. № 18. С. 221. URL: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1981-19 (дата звернення 25.10.2018).

17. Рощин А.В., Тихонов И.П., Проничкин С.В. Методический поход к оценке результатов научно-технических программ. Экономический анализ. Теория и практика. 2013. Т. 21, вып. 12. С. 10–18.

18. A Roadmap for Fundamental Physics in Space. ESA, 26 July 2010. URL: http://sci.esa.int/fprat) (дата звернення 25.10.2018).

19. Roadmaps for Future Research. Redefinition of Strategic Goals for Future Space Research on the ISS and Supporting Research Platforms. Roadmap 4. ESA Research in Space Programme Materials Science Roadmap. ESA, 2016. P. 93—123. URL: https://indico.gsi.de/event/6401/picture/10.pdf (дата звернення 25.10.2018).

20. Economic impact and technological progress of NASA research and development expenditures. Volume 1: Executive report (Midwest Research Institute). 1988. 79 p. URL: https://archive.org/details/nasa_techdoc_19940005394 (дата звернення 25.10.2018).

21. Ногин В.Д. Упрощенный вариант метода анализа иерархий на основе нелинейной свертки критериев. Журн. вычислит. матем. и математич. физ. 2004. Т. 44, № 7. С. 1259—1268.

22. Орлов А.И. Новая парадигма анализа статистических и экспертных данных в задачах управления. Труды X Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO ’15. Москва, 2015. С. 34—42.

23. Акоев М.А., Маркусова В.А., Москалева О.В., Писляков В.В. Руководство по наукометрии: индикаторы развития науки и технологий. Екатеринбург: ИПЦ УрФУ, 2014. 247 с.

24. Латур Б. Наука в действии: следуя за учеными и инженерами внутри общества. Санкт-Петербург: Издательство Европейского университета в Санкт-Петербурге. 2013. 414 с.

25. The Case for Managed International Cooperation in Space Exploration; by D.A. Broniatowski, G. Ryan Faith and Vincent G. Sabathier. Center for Strategic and International Studies, 2006. 7 p. URL: http://web.mit.edu/adamross/www/BRONIATOWSKI_ISU07.pdf (дата звернення 25.10.2018).

26. O'Neill G.K. The High Frontier: Human Colonies in Space. New York: W. Morrow & Co, 1977. 288 p.

27. Sandler T., Schulze W. The economics of outer space. J. Natural Resources. 1981. Vol. 21, N 2. P. 371—393.

28. Cohendet P. Measuring the Impact of Investments in Space: New Challenges, New Perspectives. 2013. URL: https://substance-en.etsmtl.ca/measuring-the-impact-of-investments-in-space-new-challenges-new-perspectives/.

29. Gurtuna O. Fundamentals of Space Business and Economics. Springer Briefs in Space Development. New York: Springer, 2013. 85 p.

30. Черноруцкий И.Г. Методы принятия решений. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2005. 416 с.

31. Федоров О.П., Колос Л.Н. Космическая деятельность Украины: подходы к созданию стратегии. Космічна наука і технологія. 2011. Т. 17, № 1. С. 3—11.

ЗМІСТ

ВСТУП 3

Частина перша

ПРО ДЕЯКІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУЧАСНОЇ КОСМІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

РОЗДІЛ 1

КОСМОС І НАУКОВА КАРТИНА СВІТУ 9

1.1. Вступ 9
1.2. Античний космос як межа узагальнень 14
1.3. Космос у світі класичної механіки 15
1.4. Парадокси класичного опису фізичної картини світу 18
1.5. Матеріальний світ (Всесвіт) і свідомість: пошук загального підходу до розуміння 22

РОЗДІЛ 2

ПРО КОСМІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ 27

2.1. Вступ 27
2.2. Космічна астрономія та астрофізика 31
2.3. Навколоземний космос, сонячно-земні зв'язки, космічна погода 38
2.4. Про дослідження в умовах мікрогравітації: матеріалознавство, науки про життя, фундаментальна фізика, технологічні експерименти 43
2.5. Вивчення та освоєння космічного простору: автоматичні та пілотовані космічні місії 50

РОЗДІЛ 3

ПРО ВИКОРИСТАННЯ КОСМІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ 57

3.1. Вступ 57
3.2. Супутникові спостереження землі та океанів 58

3.3. Про супутникові телекомунікації 73
3.4. Про супутникову навігацію 76
3.5. Безпека й оборона 78

РОЗДІЛ 4

ПРО КОСМІЧНУ ЕКОНОМІКУ 83

4.1. Вступ 83
4.2. Деякі економічні характеристики сучасної космічної діяльності 87
4.3. «Новий космос» та інноваційний потенціал космічної діяльності 92
4.4. Прямий вплив непрямих ефектів 96
4.5. Космічна економіка та державна політика: приклади деяких країн 99

Частина друга

ПРО ШЛЯХИ РОЗРОБЛЕННЯ СТРАТЕГІЇ КОСМІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

РОЗДІЛ 5

ПРО ДЕЯКІ РЕЗУЛЬТАТИ КОСМІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ УКРАЇНИ 119

5.1. Вступ 119
5.2. Про основні результати космічних програм 123
5.2.1. Загальнодержавні (національні) космічні програми України (ЗКПУ) 123
5.2.2. Комерційні міжнародні космічні проекти 133
5.2.3. Програми наукових космічних досліджень НАН України 137
5.2.4. Інші програми та проекти 140
5.3. Висновки 141

РОЗДІЛ 6

ПРО ВИРОБЛЕННЯ СТРАТЕГІЇ КОСМІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ 147

6.1. Передумови застосування стратегічного керування космічною діяльністю 147
6.2. Нова парадигма сучасної космічної діяльності і цілепокладання у стратегічному керуванні космічною діяльністю 151
6.3. Стратегічне керування космічною діяльністю: основні підходи 157
6.4. Стратегічне керування та сценарний аналіз 160

РОЗДІЛ 7
ПРО ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОСМІЧНИХ ПРОГРАМ 166

7.1. Вступ 166
7.2. Про оцінювання ефективності різних типів державних програм 168
7.3. Про вербальне оцінювання міжнародних космічних програм 171
7.4. Стислий аналіз підходів до оцінювання ефективності космічних програм 172
7.5. Про підходи до процедури оцінювання 176
7.6. Критеріальна база оцінювання космічної діяльності 179

ВИСНОВКИ 187

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ 192

Наукове видання

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНЕ КОСМІЧНЕ АГЕНТСТВО УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ КОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

ФЕДОРОВ Олег Павлович

КОСМІЧНА ДІЯЛЬНІСТЬ:
підходи до розробки стратегії
Why space for Ukraine?

Київ, Науково-виробниче підприємство
«Видавництво "Наукова думка" НАН України», 2019

Художнє оформлення *Ю.В. Ніколаєнко*
Художній редактор *І.П. Савицька*
Технічний редактор *Т.С. Березяк*
Оператор *В.Г. Каменькович*
Комп'ютерна верстка *О.І. Фуженко*

Підп. до друку 26.06.2019. Формат 60×90/16. Папір офс. № 1.
Гарн. Таймс. Друк офс. Ум. друк. арк. 13,0.
Ум. фарбо-відб. 13,5. Обл.-вид. арк. 13,5.
Тираж 200 прим. Зам. № ДФ-961

Оригінал-макет виготовлено
у НВП «Видавництво "Наукова думка" НАН України»
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготівників
і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 2440 від 15.03.2006 р.
01601 Київ 1, вул. Терещенківська, 3

ПП «Видавництво "Фенікс"»
03680 Київ 680, вул. Шутова, 13б
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру
серія ДК № 271 від 07.12.2000 р.