

УДК 629.78

Міжнародний космічний ринок послуг: місце і перспективи України

В. П. Горбулін¹, А. І. Шевцов², В. С. Шеховцов²

¹Держкомітет з питань оборонно-промислового комплексу України, Київ

²Дніпропетровський філіал Національного інституту стратегічних досліджень України, Київ

Надійшла до редакції 30.10.00

Аналізується сучасний стан розробки провідними фірмами світу комерційних КА і космічних транспортних систем. Обговорюється питання вартості формування космічної системи. Розглядається можлива участь України в міжнародній кооперації.

Наприкінці 1970-х років відомі фірми світу, які займалися створенням космічних апаратів і космічних систем, призначених для вирішення суто наукових і військових завдань, почали переходити на розробку комерційної космічної продукції. З великого спектру космічних систем найширшого комерційного вжитку набули КА систем зв'язку, теле- і радіомовлення. За рівнем технологічного розвитку і вартості вони ставали загальнодоступними як для корпорацій, так і для індивідуальних споживачів.

Незважаючи на те, що створення комерційних КА і космічних систем потребувало значних коштів та було пов'язане з ризиком їхньої втрати, міжнародний комерційний ринок космічних послуг почав динамічно розвиватися.

Вже у 1993 р. експертами прогнозувалася на 1994—2005 рр. потреба у запуску близько 1000 КА, з яких 30 % — комерційні, загальною вартістю 9 млрд дол. На найближчі десять років фірмою «Тіл Груп» прогнозується виведення на навколосемні орбіти близько 2120 КА.

Внаслідок збільшення кількості КА, запланованих до виведення на навколосемні орбіти, зріс попит на ракети-носії (РН), який почав перевищувати пропозиції. У 1993 р. попит світового ринку на

РН був вдоволений приблизно на 38 %, а до кінця століття прогнозувалося задовільнення приблизно 55 % попиту. Останнє призвело до інтенсифікації робіт з модернізації існуючих і створення нових РН.

Американська фірма «Боїнг» розробляє РН «Дельта-2», «Дельта-3», «Дельта-4». Компанія «Локхід Мартін» приступила до створення нових РН сімейства «Атлас», базовою моделлю якого обрано РН «Атлас-3». Фірмою «Аріанспейс» форсуються роботи з розробки РН «Аріан-5» (замість «Аріан-4»), який буде забезпечувати запуск КА вагою до 12000 кг на геостаціонарну орбіту.

В Росії розпочато створення РН «Ангара» кількох модифікацій носія: від легкого класу, який виводитиме на низькі стандартні орбіти корисний вантаж від 1700 кг до 4000 кг, до важкого, (до 30000 кг). Росією передбачається з часом замінити носії типу «Космос-3М», «Зеніт» та «Циклон-3» на РН «Ангара».

В Україні було модернізовано РН «Зеніт-2» для використання при створенні низькоорбітальних космічних систем. Для виведення КА на геостаціонарну орбіту було створено на базі «Зеніт-2» триступеневий носій «Зеніт-3», який за своїми енергетичними можливостями став на один рівень з

Кількість щорічних запусків КА фірм «Боїнг» та «Локхід Мартін»

РН	Космодром	Кількість запусків
Фірма «Боїнг»		
«Дельта-2, -3»	Мис Канаверал	17
«Дельта-2»	Мис Канаверал	9
«Дельта-4»	Мис Канаверал	9
«Зеніт-3SL»	Морський старт	6
Фірма «Локхід Мартін»		
«Атлас-3»	Мис Канаверал	16
«Атлас-3»	Вандерберг	6
«Атлас-5»	Мис Канаверал	16
«Атлас-5»	Вандерберг	6
«Протон»	Байконур	12

основним європейським РН «Аріан-4», а також став конкурентноспроможним з китайськими РН CZ і російським носієм «Протон».

Одночасно з модернізацією і створенням нових носіїв їхні розробники поширюють послуги на запуски КА, укладаючи відповідні контракти з фірмами і компаніями, які реалізують різноманітні космічні програми, такі як «Скайбридж», «Теледесік», «Еліпсо» та ін. Наприклад, фірмою «Аріанспейс» укладено контракт на виведення 16 КА «Еліпсо» чотирма носіями «Аріан-5» у 2002 році. ЕККО планує укласти контракт з фірмою «Орбітал Саєнсіз» на запуск 12 КА до 2001 року, «Лео Ван» скористається послугами фірми «Еврокот» для виведення на орбіту 48 КА до 2001 р.

Фірма «Боїнг» стане спроможною, починаючи з 2002 року, щорічно здійснювати запуск 41 КА, у тому числі з використанням українського носія «Зеніт-3SL». Фірмою «Локхід Мартін» планується виводити щорічно 56 КА, у тому числі з використанням російського носія «Протон» (таблиця).

Створення сучасних космічних систем коштує мільярди доларів. Витрати на розробку комерційного КА можуть перевищувати 500 млн дол. Наприклад, вартість програми «Турайя» регіонального рухомого телефонного зв'язку з КА вагою 5250 кг становить близько 1.1 млрд дол. Виведення КА на геостационарну орбіту застраховане більше ніж на 800 млн дол. Вартість виведення залежить від типу носія та орбіти призначення КА і коливається від 60 млн дол. (наприклад для російського носія «Протон») до 350 млн дол. (для американського РН «Титан-4»). Невдача у запуску РН призводить до

значних втрат як фірми-власника КА, так і фірми-постачальника РН, яка забезпечує запуск КА. Наприклад, фінансові наслідки невдалого першого комерційного пуску «Зеніт-2» в інтересах створення системи «Глобалстар» були настільки важкими для фірми «Спейс Системс/Лорал» — одночасно було загублено дванадцять комерційних супутників — що вона тимчасово припинила дію контракту з Україною і перейшла до використання російського носія «Союз», який може виводити лише чотири КА. Невдалі пуски американських РН «Дельта-3» та «Титан-4» спричинили втрати КА загальною вартістю 1.2 млрд дол.

Можливість значних втрат народила нові тенденції у подальшому розвитку комерційних КА та створенні транспортних систем. До них слід віднести розробку відносно малих КА для створення низькоорбітальних систем; створення РН, використання яких забезпечуватиме дешевше виведення КА; підвищення надійності КА, існуючих та нових РН; поширення міждержавного співробітництва у модернізації і створенні РН.

Створення і експлуатація низькоорбітальних систем обходяться дешевше ніж створення систем, які експлуатуються, наприклад, на геостационарній орбіті, хоча і потребують урахування часових обмежень на розгортання системи, збереження КА на поточний час та їхньої підтримки для забезпечення визначеного терміну активного існування. Вартість КА для таких систем нижча, а витрати на виведення їх на орбіту у 3—5 разів менші, ніж при виведенні на орбіту, перехідну до геостационарної. Наприклад, питома вартість виведення КА на низьку орбіту РН «Атлас-2А» становить 9 тис. дол./кг (рис. 1), а на перехідну до геостационарної орбіту тим же носієм — більш ніж 25 тис. дол./кг (рис. 2)¹. Питома вартість виведення КА на низькі орбіти за допомогою РН «Протон» становить приблизно 3.7 тис. дол./кг, а на перехідну до геостационарної орбіту — 17.5 тис. дол./кг.

Менша вартість низькоорбітальних космічних систем, прийнятні технічні та експлуатаційні характеристики призвели до поширення робіт з їхнього створення. Прогнозується, що 2120 КА, які будуть виводитися на навколосеземні орбіти у 1999—2009 рр., розподіляться таким чином: 66.7 % — в інтересах створення низькоорбітальних систем, 16.7 % — для створення систем на геостационарній орбіті, решта — для створення систем на інших орбітах (рис. 3).

Близько половини КА працюватимуть в низько-

1 Рис. 1, 2 — за матеріалами О. І. Кисельова, А. А. Медведєва, Ю. Н. Труфанова, В. Ю. Юр'єва. Сімейство РН «Ангара»: стан розробки та перспективи впровадження багаторазових елементів. — ДДВКП Хрунічева, 1999.

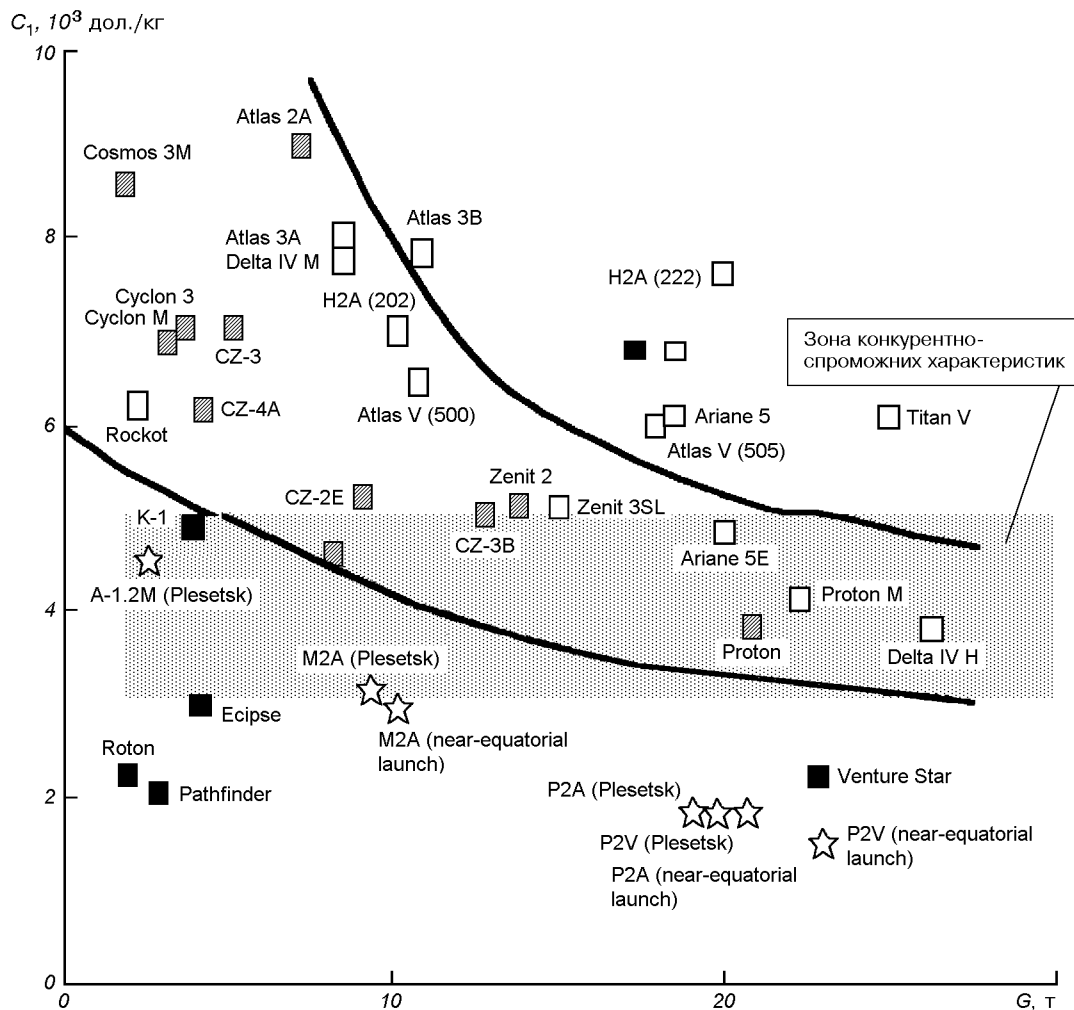


Рис. 1. Питома вартість C_1 виведення корисної маси G на низьку навколосезну орбіту: заштриховані прямокутники — РН, які знаходяться в експлуатації, світлі прямокутники, зірочки — новітньої розробки, чорні прямокутники — багаторазового використання

орбітальних системах «Теледесік», «Глобалстар», «Скайбридж», «Іридіум». Більшість КА, які будуть виведені на геостаціонарну орбіту, належатимуть фірмам США.

Створення відносно дешевших носіїв. Виконується значний обсяг робіт зі створення РН, які забезпечать меншу вартість виведення КА. Наприклад, у Франції проводяться розробки РН для виведення малих КА. Вартість виведення КА такими носіями становитиме 15—20 млн дол. Для зменшення витрат на створення космічних систем фірма «Аріанспейс» вирішила додати до своєї номенклатури російські носії «Союз» і «Рокот». За висновками фірми — це дешевше від створення власних легких носіїв. Планується, що «Аріанспейс» буде приймати участь у фінансуванні і виробництві носія «Союз/ST Фрегат». Цей носій

має новий верхній ступінь «Фрегат», модифіковані двигуни першого і другого ступенів, обтічник від РН «Аріан-4» та цифрову систему управління. Участь у фінансуванні і виробництві носія «Рокот» буде здійснюватися шляхом співробітництва з франко-російським підприємством «Старсем», 15 % акцій якого вже належать «Аріанспейс», а можливо і з німецько-російським підприємством «Єврокот».

Носій «Рокот» має два ступеня рідинної МБР та третій ступінь «Бриз», який раніш було розроблено як четвертий ступінь РН «Протон».

Японія провадить розробку ракет-носіїв типу I-IV та H-2A з метою зменшення вартості запуску за їхньою допомогою вдвічі. В Україні разом з Росією створено на базі МБР SS-18 ракетно-космічну систему з носієм «Дніпро». Основними матеріальними складовими системи було прийнято 150 ракет SS-

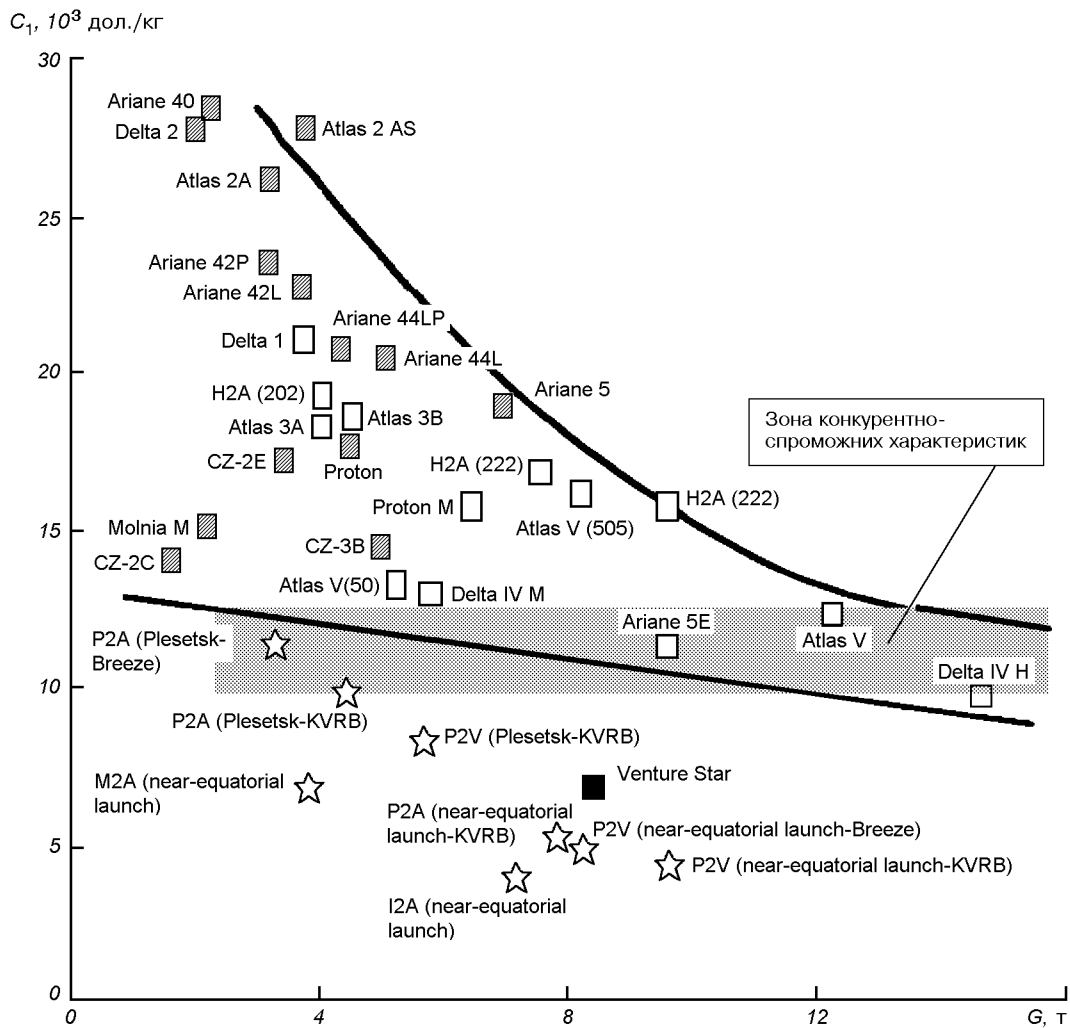


Рис. 2. Питома вартість C_1 виведення корисної маси G на перехідну геостаціонарну орбіту: заштриховані прямокутники — РН, які знаходяться в експлуатації, світлі прямокутники, зірочки — новітньої розробки, чорні прямокутники — багаторазового використання

18, які перебувають на бойовому чергуванні, або зберігаються в арсеналах, і наземну інфраструктуру комплексу SS-18 на космодромі Байконур.

Вивчається можливість створення ракети-носія легкого класу з використанням систем МБР SS-19 і

SS-24, які підлягають утилізації. Корисна вага, яку буде виводити носій на стандартну низьку орбіту, становитиме приблизно 1700 кг.

Значну увагу провідні фірми-розробники транспортних космічних засобів приділяють створенню і експлуатації перспективних авіаційно-космічних систем (АКС), що підтверджується розробкою ряду проектів АКС у США, Росії, Франції, Англії, Україні, Німеччині, Японії, а також експлуатацією американської АКС «Пегас» з 1990 року. При певних умовах АКС дозволяють суттєво знизити експлуатаційні витрати, забезпечити потрібні оперативність і безпеку використання, а також частково усунути недоліки РН наземного базування: одноразовість першого ступеня та необхідність мати складну наземну інфраструктуру — стартові комп-

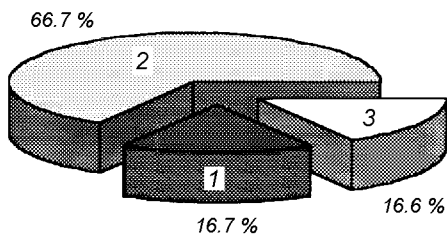


Рис. 3. Розподіл КА, які будуть виводитися у 1999—2009 рр., за типами орбіт призначення: 1 — геостаціонарні КА, 2 — навколоземні низькоорбітальні системи, 3 — інші

лекси, відчужені райони падіння відокремлених частин РН і т. ін.

Росія пропонує створити АКС на базі українсько-російського транспортного літака АН-124-100 «Руслан» та двоступеневого носія зі стартовою вагою 80 т. Така АКС спроможна виводити на низьку стандартну орбіту корисну вагу 2700 кг, а на полярну орбіту — 2100 кг. Питома вартість виведення КА на орбіту при цьому буде складати не більше 5000 дол./кг. Вартість такого проекту оцінюється у 750 млн дол.

Україна також пропонує створити АКС на базі літака АН-124-100 «Руслан» з використанням двоступеневого носія стартовою вагою 55 т. Українська АКС дозволяє виводити корисну вагу близько 1630 кг на низьку стандартну орбіту з нульовим нахилом, меншу, ніж російська АКС. Питома вартість виведення КА приблизно така ж, як і у російському варіанті, але вартість проекту за рахунок використання відпрацьованих систем, зокрема маршових двигунів, більш ніж на порядок нижча і складає 55 млн дол. Існують й інші українські проекти створення перспективних АКС.

Для України, яка не має власного космодрому, створення АКС є одним із пріоритетних завдань.

Підвищення технічної надійності КА і РН призводить до подальшого підвищення їх вартості, але зміцнює позиції бізнесу за рахунок зменшення ризику втрат РН і КА при виведенні і експлуатації.

Поширення міждержавного співробітництва у модернізації і створенні РН дозволяє підвищувати технічні характеристики носіїв за рахунок об'єднання технологічних набутків провідних фірм світу, скорочує матеріальні витрати та час.

Україна увійшла до міжнародної компанії «Сі Лонч» для розробки разом з фірмами «Боїнг» (США), РКК «Енергія» (Росія) і «Квернер Марітайм» (Норвегія) унікального ракетно-космічного комплексу на базі українського тріступеневого носія «Зеніт-3SL» та плавучого морського космодрому, створеного з використанням плавучої нафтодобувної платформи і спеціального допоміжного судна.

Одночасно провідним українським ДКБ «Південне» разом з італійською фірмою «Фіат-Авіо» виконано проект по створенню РН «Циклон-4», здатного виводити 1700 кг корисної ваги на перехідну до геостаціонарної орбіти. Будівництво стартового комплексу для РН «Циклон-4» планується на космодромі «Алькантора Спейс Центр»

у Бразилії. Відповідно до проекту «Маяк» ДКБ «Південне» планує розробку носія, спроможного виводити на низьку кругову орбіту корисну вагу 7500 кг. Створення носія планується з використанням відпрацьованих українських і західноєвропейських технологій із стартовим комплексом на космодромі «ОТВ Тест Ранг» у південній Африці.

Проводяться подальші роботи з модернізації РН «Зеніт-2» та консультації щодо його використання компанією «Сі Лонч» при створенні низькоорбітальних систем (проект Лонч ін Дезерт).

На відміну від традиційного підходу¹ для України має сенс брати участь у міжнародних комерційних (інтегральних) компаніях, які у рамках єдиної організаційно-технічної і фінансової схеми розробляють та експлуатують і КА, і РН. Ідея створення таких об'єднань не є новою. У межах конструкторських бюро вона почала використовуватися ще на першому етапі створення ракетно-космічної техніки, зокрема в Росії, в конструкторському бюро ім. С. П. Корольова, та в Україні, в конструкторському бюро ім. М. К. Янгеля (тепер ДКБ «Південне»). Такий підхід у той час був викликаний насамперед технічною доцільністю. Поширення підходу на сферу виробництва і експлуатації КА і РН концентрацією зусиль декількох комерційних фірм має сенс з економічної точки зору. Наприклад, провідна фірма «Локхід Мартін», яка розробляє комерційні КА, створює РН «Атлас-5» за участю російських фірм. Заплановане використання російського рідинного двигуна РД-180 як маршового двигуна першого ступеня «Атлас-5», поставки якого до США передбачаються протягом десяти років. Планується також виготовлення двигуна РД-180 на американській території. Ліцензію на право такого виготовлення придбала у Росії одна з американських фірм за 25 млн дол. Проект створення нового російського носія «Ангара», окрім російського авіаційно-космічного агентства, ДДВКЦ Хрунічева, Міністерства оборони, фінансується також американською фірмою «Локхід Мартін».

Ракетно-космічна галузь України має високорозвинений інтелектуальний, науково-технічний потенціал і експериментально-промислово виробничу базу світового рівня. З їхнім використанням можливе виробництво відносно дешевих конкурентноспроможних РН. У той же час Україна, маючи кризовий стан економіки, не може щорічно виділяти достатні кошти для такого виробництва.

Попит на відносно дешеві і надійні РН на між-

1 При традиційному підході одні фірми розробляють і експлуатують КА, інші — РН; взаємовідносини між ними регулюються законами ринку та відповідними контрактами. Згідно з таким розподілом праці сьогодні формуються попит і пропозиції на міжнародному ринку космічних послуг.

народному ринку пускових послуг значно зріс. У разі створення інтегральної компанії, до складу якої буде входити спеціалізована фірма (корпорація) зі створення і забезпечення експлуатації КА і космічних систем, остання може використовувати РН компанії не за ринковою вартістю, яка складається на міжнародному ринку пускових послуг, а за собівартістю, що без сумнівів дешевше.

Окрім того, при створенні РН в межах інтегральної компанії існує можливість зниження сумарних витрат на льотне випробування КА¹ і РН та створення космічних систем за рахунок оптимізації відповідних етапів їхніх випробувань (див. Додаток). Фірма-розробник КА (корпорація), яка зацікавлена у зменшенні вартості КА і космічних систем, може увійти до складу такої компанії та інвестувати у виробництво РН необхідні кошти.

Українські організації і підприємства, входячи до компанії, можуть передати їй на певних умовах ракетні технології світового рівня, сучасні об'єкти космічної діяльності², науковий, науково-технічний і виробничий потенціал, кваліфіковану робочу силу за цінами, які безумовно забезпечать рентабельність компанії. Участь українських організацій і підприємств у таких компаніях надала б значного імпульсу до подальшої економічної стабілізації і розвитку національної ракетно-космічної галузі.

Серед схем участі України в інтегральних компаніях можна відзначити дві:

— *апробовану схему*, яка використовується при створенні компаній для виробництва і експлуатації ракетних комплексів (типу «Сі Лонч»): Україні (ДКБ «Південне», ВО «Південний машинобудівний завод» та ін.) визначається відсоткова доля у стартовому капіталі інтегральної компанії як залік за її науково-технічний і виробничий потенціал для створення РН; обсяги організаційно-технічних робіт і виробництва РН регулюються відповідним узгодженим положенням;

— *ринкову схему*, коли частка науково-технічного і виробничого потенціалу галузі формується у відносно самостійну організаційно-технічну структуру («нитку»)³ виробництва РН; частина «нитки» продається фірмі-розробнику КА (або акціонується)

ся) за умови, що продана (акціонована) частина «нитки» виробництва РН залишається на території України; решта — суто українська — входить до компанії на умовах апробованої схеми; продаж (або акціонування) частини «нитки» здійснюється фірмі-розробнику КА на пільгових умовах.

За попередніми розрахунками участь України у інтегрованих компаніях за однією з наведених схем може забезпечити зниження вартості: пуску РН на 10—15 %⁴, а загальної вартості розробки і створення космічної системи — на 5—7 %.

У разі реалізації ринкової схеми галузь отримає немалі кошти від продажу частки «нитки» (акціонування), створить додаткові робочі місця, завантажить на довгостроковий період частку науково-технічного і виробничого потенціалу та отримає певні прибутки.

Зрозуміло, що для продажу (акціонування) часток стратегічних підприємств, які будуть входити до «нитки», необхідно отримати відповідний дозвіл вищих структур управління державою.

Сьогодні найбільш розвиненими технологічно і міцними у фінансовому відношенні є спеціалізовані фірми-розробники КА США та західних країн (корпорації). Розпочинати діалог щодо створення інтегруючих компаній доцільно перш за все з ними. Але не треба виключати і фірми інших країн. Наприклад, російські фахівці більше ніж інші знають можливості і обсяги науково-технічного і виробничого ракетно-космічного потенціалу України⁵. Вони зацікавлені у його придбанні.

У свій час російськими представниками було запропоновано українській делегації розглянути можливість передачі Росії ВО «Південний машинобудівний завод» та інших стратегічних об'єктів, щоправда в рахунок погашення заборгованості за російські енергоносії.

Зрозуміло, що розраховуватися за борги хоча б часткою стратегічних об'єктів, тим більш ВО «Південний машинобудівний завод» — це справа неприпустима. Але якщо мова буде йти, наприклад, про створення американсько-українсько-російської інтегральної компанії з використанням згаданої ринкової схеми участі України — обговорення можли-

1 Можливість льотного відпрацювання комерційних КА у межах «своєї» компанії стимулюватиме створення більш сучасних зразків.
2 Під об'єктами космічної діяльності розуміють матеріальні предмети штучного походження, що проєктуються, виготовляються та експлуатуються як у космічному просторі (космічний сегмент, космічна інфраструктура), так і на поверхні Землі (наземний сегмент, наземна інфраструктура) з метою дослідження та використання космічного простору. Закон України «Про космічну діяльність» від 15 листопада 1996 року № 502/96 ВР, ст. 1, абзац 3.
3 Створення відносно самостійної «нитки» виробництва РН — реальна справа. У колишньому СРСР українська ракетно-космічна галузь була спроможна виробляти одночасно декілька МБР і носіїв КА. Створений у радянські часи і збережений на сьогодні науково-технічний і виробничий потенціал дозволяє створити «нитку» вилученням його частки без вад для галузі в цілому.
4 У порівнянні з вартістю, яка складається на міжнародному ринку пускових послуг.
5 Тільки експериментально-випробувальна база ДКБ «Південне» налічує 108 капітальних споруд та 108 випробувальних стендів, які дозволяють забезпечити потрібні обсяги відпрацювання в умовах, наближених до натурних, конструкцій, вузлів та систем при створенні нових зразків ракетно-космічної техніки.

вості продажу (акціонування) частки української «нитки» виробництва РН можливе.

Підсумовуючи викладене, можна дійти таких висновків.

Міжнародний комерційний ринок космічних послуг динамічно розвивається як у напрямку створення низькоорбітальних космічних систем, так і у напрямку створення систем, які використовують геоцентричну орбіту. Важливе місце в ньому посідають фірми-розробники РН (їхні об'єднання), які забезпечують виведення КА на орбіти призначення.

Ракетно-космічна галузь України зробила перші помітні кроки на ринку пускових послуг із значними комерційними контрактами, що дозволило запобігти катастрофічній ерозії галузі і створити певні умови для її виживання. Незважаючи на отримані позитивні результати, має місце значний брак коштів для подальшої стабілізації і розвитку галузі.

Для подальшої стабілізації і забезпечення прийнятних темпів розвитку галузь наполегливо працює у напрямі поширення міждержавного комерційного співробітництва:

— у напрямі створення перспективних авіаційно-космічних систем, а також легких РН наземного базування для використання при створенні низькоорбітальних космічних систем; названі транспортні системи будуть забезпечувати конкурентоспроможну питому вартість виведення КА на орбіти призначення; у цьому ж напрямі проведена модернізація РН «Зеніт-2» й проводяться поглиблені консультації щодо використання носія компанією «Сі Лонч» при створенні низькоорбітальних систем (проект Лонч ін Дезерт);

— істотної модернізації і створення нових транспортних систем наземного базування типу «Дніпро», «Циклон-4», «Маяк» тощо;

Для поширення участі у міжнародному ринку пускових послуг має сенс Україні брати участь у створенні міждержавних комерційних компаній з єдиною організаційно-технічною і фінансовою схемою (інтегральних компаній), які забезпечують розробку та експлуатацію і КА, і РН; створення космічних систем в межах таких компаній потребує менше коштів, зокрема за рахунок використання РН компанії не за ринковою вартістю, яка складається на міжнародному комерційному ринку, а за ціною, наближеною до собівартості, а також оптимізації етапів льотного відпрацювання КА, РН і створення космічних систем.

Стаття не відзеркалює офіційної позиції провідних українських ракетнокосмічних організацій і підприємств. Результати аналізу і висновки, які в ній наведено, не претендують на всебічну завершеність і є запрошенням до діалогу з метою вибору подальших шляхів поширення участі України у міжнародному комерційному ринку космічних послуг.

ДОДАТОК

ВАРТІСТЬ ВІДПРАЦЮВАННЯ КА, РН І ФОРМУВАННЯ КОСМІЧНОЇ СИСТЕМИ

В загальному випадку оптимізовані етапи є результатом вирішення декількох багатовимірних задач. Підходи до оптимізації та її зміст можна проілюструвати на прикладі вирішення спрощеної моделі задачі визначення мінімальної загальної вартості на льотно-конструкторське відпрацювання КА, РН та формування космічної системи.

Розглянемо ситуацію, коли корпорація одночасно з завершенням розробки нових КА, що потребують льотних випробувань, розпочинає льотне відпрацювання суттєво модернізованої РН, яка повинна кожним пуском забезпечувати виведення певної кількості КА. Задачу будемо вирішувати при таких вихідних даних: нехай n — максимальна кількість КА, яка може бути виведена однією РН на орбіти призначення, $n - m$ — кількість КА, що виводиться одним запуском РН для їх льотного відпрацювання, m — кількість макетів КА для імітації повного навантаження РН; $n \cdot M$ — кількість КА, потрібна для створення космічної системи, M — кількість успішних запусків РН; вартість запуску одного РН дорівнює вартості одного КА, вартість кожного з m макетів КА незначна і дорівнює нулю; вираз кількості аварійних пусків¹ РН від загальної кількості пусків має вигляд

$$N_a = a + bN + cN^2, \quad -\frac{b}{2c} < N, \quad (1)$$

де N_a , N — відповідно кількість аварійних пусків та загальна кількість пусків; a , b , c — статистичні коефіцієнти.

Розглянемо послідовне відпрацювання: пусками РН, які оснащені $n - m$ КА, потім — пусками РН з n КА на борту. Задачу оцінки вартості сформу-

¹ Під аварійним пуском РН розуміється або повністю аварійний пуск, або частково невдалий, при якому мало місце неспрацювання однієї чи декількох основних систем ступенів РН. Кількість аварійних пусків залежить від льотної надійності РН, яка визначається з використанням статистичних матеріалів льотного відпрацювання РН-аналога.

люємо наступним чином: визначити мінімальні загальні витрати на льотно-конструкторське відпрацювання КА, РН і формування космічної системи, забезпечивши послідовно N пусків РН, з яких N_x — кількість пусків з $n - m$ КА на борту та $(N - N_x)$ пусків з n КА, при яких має місце M успішних запусків КА. З урахуванням викладеного загальна вартість льотного відпрацювання матиме вигляд

$$C_{\Sigma} = c_0(1 + n - m)N_x + c_0(n + 1)(N - N_x) \quad (2)$$

де c_0 — вартість запуску РН (вартість КА), або

$$\bar{C}_{\Sigma} = -mN_x + (n + 1)N, \quad (3)$$

де $\bar{C}_{\Sigma} = C_{\Sigma}/c_0$ — відносна загальна вартість відпрацювання.

Кількість аварійних пусків РН з n КА при кількості пусків $N - N_x$ з урахуванням виразу (1) має вигляд

$$\Delta N_a = b(N - N_x) + c(N^2 - N_x^2). \quad (4)$$

Потрібну кількість N пусків РН при забезпеченні M успішних запусків можна визначити з рівняння

$$N - N_x - \Delta N_a = M. \quad (5)$$

Рівняння (5) з урахуванням (4) можна представити у вигляді

$$N^2 - \frac{1-b}{c}N + K = 0, \quad (6)$$

де

$$K = -N_x^2 + \frac{1-b}{c}N_x + \frac{M}{c}.$$

Розв'язок рівняння (6) матиме вигляд

$$N = \frac{1-b}{c} + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{(1-b)^2}{c^2} - 4 \frac{1-b}{c} N_x + 4N_x^2 - \frac{4M}{c}}. \quad (7)$$

З урахуванням (7) відносно загальну вартість відпрацювання можна записати у формі

$$\bar{C}_{\Sigma} = -mN_x + \frac{(n+1)}{2} \times \left(\frac{1-b}{c} + \sqrt{\frac{(1-b)^2}{c^2} - 4 \frac{1-b}{c} N_x + 4N_x^2 - \frac{4M}{c}} \right). \quad (8)$$

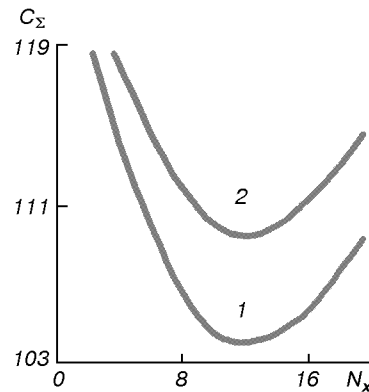


Рис. 4. Залежність відносної загальної вартості C_{Σ} відпрацювання КА, РН і формування космічної системи від кількості пусків N_x : 1 — при $n = 10, m = 8, M = 5$; 2 — при $n = 8, m = 6, M = 7$ для носія «Зеніт-3»

При визначених кількості макетів КА m , максимальній кількості КА n , заданій кількості успішних пусків M відносна загальна вартість відпрацювання КА, РН та формування космічної системи нелінійно залежать від кількості пусків N_x носія з макетами КА. Вираз для визначення екстремальної кількості пусків з макетами КА, отриманий з використанням рівняння (8), має вигляд

$$N_x^{\text{ext}} = \frac{1-b}{c} + m \sqrt{\frac{M}{|c| [(n+1)^2 - m^2]}}. \quad (9)$$

Додатний знак другої похідної (при $c < 0$) показує, що екстремальна точка (9) є мінімумом відносної загальної вартості. На рис. 4 наведено залежності відносної загальної вартості відпрацювання від кількості пусків N_x з макетами КА при прийнятих n, m, M . Видно, що відхилення від екстремальної точки за кількістю пусків N_x може призводити до певного підвищення загальної вартості відпрацювання РН, КА і формування космічної системи.

INTERNATIONAL SPACE SERVICE MARKET: PLACE AND FUTURE PROSPECTS OF UKRAINE

V. P. Gorbulin, A. I. Shevtsov, and V. S. Shekhovtsov

The present-day status of constructing commercial space vehicles and transport space systems is analysed. The price problem of forming the space system is discussed. Possible participation of Ukraine in the international cooperation is considered.