

О.П. Федоров

О КОСМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ:

подходы к разработке стратегии

WHY SPACE FOR UKRAINE?

КИЕВ НАУКОВА ДУМКА 2019

В монографии рассматривается космическая деятельность с точки зрения различных применений и решения земных проблем: от мировоззренческих до экономических (Why Space?). Монография состоит из двух относительно самостоятельных частей. В первой анализируется влияние космической сферы на современную науку, экономику и научно-техническое развитие. Вторая часть представляет собой введение в разработку космической стратегии и стратегического планирования. Рассматриваются принципиальные этапы выработки методологии как движения от исходного состояния к новой модели деятельности. Предложен язык, на котором необходимо обсуждать и формулировать будущую стратегию, а также подходы к оценке эффективности космической деятельности.

Для широкого круга специалистов космической сферы, а также управленцев высокотехнологических отраслей.

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 розробку 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.

*Научно-издательский отдел физико-математической
и технической литературы*

Редактор *А.Я. Бельдид*

ВВЕДЕНИЕ

*...в чем состоит решение задачи?
Оно состоит в том, что мы находим язык,
в котором решение очевидно.*

Г.П. Щедровицкий

Эта книга – о космосе, о той стороне космической деятельности, которая связана с идеологией и выработкой стратегии. Или, другими словами, о том, что приносят сегодня и могут дать завтра космические проекты; какие у нас цели в космосе и какими способами собираемся их достигнуть. Американцы формулируют эту проблему кратко: «Why space?» (так называлась лекция, прочитанная С. Хокингом в НАСА). Поэтому второй вариант заголовка этой книги — Why Space for Ukraine?

Такой взгляд на космос не подменяет других, не менее актуальных. Действительно, уровень космических технологий (Space Technologies) определяет нашу способность использовать ресурсы космоса; принципиально новые знания вырабатываются в ходе космических исследований (Space Research); экономическая отдача возникает в новой сфере — космической экономике (Space Economy); международная значимость государства отражается и в космической политике (Space Policy). Список можно продолжить.

Космическая стратегия (Space Strategy) — из этого ряда, поскольку в известной степени включает в себя указанные подходы (в некоторых работах ее отождествляют с космической политикой). Для Украины актуальность собственной стратегии (и соответственно методологии ее разработки) обусловлена тем, что эта стратегия не только не разрабатывалась, но такая задача не ставилась как таковая. Важные практические вопросы содержания космических программ, технологической и промышленной политики, реформирования отрасли, международных связей не могут быть решены без выработки национальной космической стратегии.

Речь идет об осмысленных действиях в высокотехнологической сфере, поэтому данная тема, вообще говоря, выходит за рамки космической отрасли. К сожалению, отсутствие национальных стратегических ориентиров, в том числе и в космической сфере, делает нас объектом стратегии внешней.

Для Украины выработка космической стратегии осложнена специфическими трудностями, поскольку задачи использования унаследованного потенциала требуют решительного пересмотра, исходя из современных интересов независимой Украины. Поэтому стратегическое планирование в принципе не может основываться на прежней деятельности, а система принятия решений должна учитывать новые требования международной космической деятельности и изменившиеся внутренние обстоятельства, особенно в связи с агрессией на востоке.

В книге нет выстроенной методики разработки отечественной космической стратегии. Необходимо пояснить, что наличие стратегии отнюдь не определяется написанием документа с таким названием. Речь должна идти о процессе выработки и реализации стратегии (стратегического управления) как о движении от исходного состояния к новой модели деятельности. Стратегическое управление на основе разработанной стратегии — это непрерывный процесс взаимодействия различных типов управленцев и экспертов с целью практической реализации результатов стратегического анализа. Такой метод активно применяется в практике организации высокотехнологического бизнеса, а также управлением такими сферами деятельности, как космическая.

Подобный подход к стратегии космической деятельности Украины не разрабатывался, поэтому в книге рассматриваются принципиальные этапы выработки методологии, предложен язык, на котором необходимо обсуждать и формулировать будущую стратегию. В частности, предпринята попытка краткого обзора современного состояния космической деятельности и отечественных реалий с точки зрения «Why Space?». Особенности современного ее состояния требуют краткого комментария для пояснения исходной позиции автора и способа дальнейшего изложения.

За последние годы роль космонавтики претерпела сильные изменения в связи с ее влиянием на научный и технический уровень и, в конечном счете, на конкурентоспособность экономики. Аналитики говорят об изменении парадигмы современной космической деятельности, которая предусматривает переход от стратегической гонки во имя лидерства к приоритету устойчиво-

го развития и ориентации на потребителя. Из этого следует подчиненность приоритетов космической деятельности основным национальным приоритетам (в экономике, безопасности, науке, образовании, повышении качества жизни граждан). Эффективность космических программ оценивается не количеством пусков, а ответами на вопросы: насколько возрастет безопасность страны и региона, каков выигрыш от прогноза катастроф или оценки бедствий, как улучшились конкретные управленческие решения? Формирование технологической, научно-технической и кадровой политики жестко связано с возможностью космических технологий эффективно решать приоритетные государственные и общественные задачи. От этого зависят решения о масштабе и пропорциях развития новых систем, технологий и производственных мощностей.

Поэтому тезис о том, что страна является «космической», сегодня требует иных оснований для аргументации, чем 20 лет назад. Необходима коррекция термина «космическая деятельность», КД (заметим, что в оригинале Space Activity имеет вполне жизнеутверждающее значение, а в переводе звучит как канцелярит, почти негативно).

Еще недавно в различных международных документах КД определялась как деятельность по исследованию и использованию космического пространства, связанная с созданием и использованием космических средств. В связи с отмеченными выше изменениями теперь к КД относят широкий круг областей, использующих космические технологии и информацию (связь, навигация, космические наблюдения, трансфер технологий, информационные сервисы и многие другие), которые не связаны непосредственно с космическими средствами. Поэтому в тексте книги термин КД употребляется в широком смысле.

Каждая из глав посвящена рассмотрению КД с некоторой специфической точки зрения, причем первые четыре призваны прямо ответить на вопрос «Why Space?» В главе 1 обозначен сдвиг в нашем понимании мироустройства и многих категорий, определяющих взгляды на окружающий мир, который происходит под влиянием исследований космоса. Этой теме уделено не меньше внимания, чем научному, технологическому или экономическому аспектам КД (главы 2, 3, 4), что необычно для рассматриваемой проблемы. По убеждению автора, этот аспект космонавтики важен не только для профессионалов-гуманитариев, но и для широкой публики, поскольку способен формировать базовые мировоззренческие понятия. Кроме того, страна, актив-

но исследующая космос, порождает не только высокие технологии, но и интеллектуальный потенциал, который имеет не меньшую ценность для становления нации. В главе 5 приведена информация об основных результатах украинских космических программ и выводы об их значимости. Основным положениям процесса разработки стратегии КД посвящены главы 6 и 7, причем в последней главе рассмотрен процесс оценивания результатов и сценариев космической деятельности как части стратегического управления.

Монография не претендует на полноту раскрытия темы космической деятельности, а является скорее конспектом, который предполагает дальнейшее, более глубокое рассмотрение. Структура монографии соответствует минимально необходимому охвату заданной проблематики для конструирования целостной картины стратегического планирования. Такая характеристика основана как на анализе различных источников информации, так и на практическом опыте участия в различных международных группах планирования космических программ. Причем этот опыт свидетельствует о крайней необходимости разрабатывать собственную методологию, основанную на учете национальных интересов и международного опыта с точки зрения достижения собственных целей. Национальную стратегию не смогут подготовить даже самые доброжелательные союзники, а применимость зарубежных разработок крайне ограничена.

Информация, соображения и выводы, изложенные в монографии, могут быть полезными для тех, кто занимается конкретными научными или инженерными разработками, а также управленцам и тем специалистам, которые вовлечены в космическую деятельность.

ЧАСТЬ I.

**О НЕКОТОРЫХ
ХАРАКТЕРИСТИКАХ
СОВРЕМЕННОЙ
КОСМИЧЕСКОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

- КОСМОС И НАУЧНАЯ КАРТИНА МИРА
- О КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ
- О ПРИМЕНЕНИИ КОСМИЧЕСКИХ
ТЕХНОЛОГИЙ
- О КОСМИЧЕСКОЙ ЭКОНОМИКЕ

1

КОСМОС И НАУЧНАЯ КАРТИНА МИРА

*...не существует ли тайного механизма,
вследствие которого все в мире
не может быть ничем иным, чем оно есть.*

Чжао-цзы

1.1. Введение

Проблема познания мира в целом, включая нас самих и наше знание как части этого мира, — центральная проблема естествознания и философии. Иногда именно ее называют проблемой космологии, если понимать ее как науку обо всем сущем [1]. Философское понятие «мир» и космологическое понятие «Вселенная как целое», относящееся к сфере физической реальности, часто отождествляют. Разумеется, философские образы мира как целого и их физические аналоги имеют разные смыслы. «Все сущее» — категория философская, она не обозначает какого-либо физического объекта. В то же время стремительное развитие знаний о Вселенной приводит к новому философскому осмыслению обнаруженных фактов, изменению смыслов таких понятий как пространство, время, причинность, необходимость и случайность, свобода, дух, познание. Учение о космосе представляет собой ту сферу, в которой научная рациональность не может обойтись без метафизических вопросов об истоках сущего. Развитие космологии стирает классическую грань между физикой и философией, обуславливает их смысловое переплетение.

В методологическом плане такое переплетение философских и естественно-научных подходов изменяет смысл вновь создаваемых теорий. Раньше теоретики строили модели, полагая, что лишь одна из них имеет онтологический смысл, а остальные являются ступенями на пути к истине. В рамках новой физики второй половины XX века стало понятно, что эволюционирующая Вселенная — «незавершенность мира» — означает невозможность единственной истины, сколь бы она ни приближалась

к некоему абсолютному пределу. Наиболее ярко этот подход может проиллюстрировать инфляционная космология. Здесь «излишними становятся попытки построить теорию, в которой наблюдаемое состояние Вселенной и наблюдаемые законы взаимодействия элементарных частиц были бы единственно возможными...» [2].

Драматизм новой физики состоит в осознании пределов применимости известных фундаментальных теорий и применимости установившихся научных понятий. Осознана необходимость создания новой физики, включающей существующие теории в качестве своих частных случаев. И более того, новое знание об эволюционной самоорганизации Вселенной приводит к формированию новых представлений о физической реальности. Если каждой существующей фундаментальной теории соответствует определенный тип физической реальности, то новая физика должна описать процессы, которые состоят в последовательной смене типов физических реальностей. В частности, реальность, в которой нет известных нам типов взаимодействий, структур и элементарных частиц, должна трансформироваться в другие реальности вплоть до появления тех, которые существуют в подлунном мире.

Открытия расширяющейся Вселенной, фундаментальной роли неравновесных процессов и эволюционирующих систем лежат в основе новой картины мира. Во всех сферах исследования обнаруживаются разнообразие форм, эволюция, неустойчивости: от мира элементарных частиц, биологии — до астрофизических объектов. «Под влиянием конкретных достижений произошел и общий психологический сдвиг в семье физиков. Критерий простоты природы сменился критерием единства и симметрии природы. Физика, в которой существовали бы только протоны, нейтроны, электроны, безмассовый фотон и безмассовый нейтрино, была бы максимально проста» [3]. Наше видение природы претерпевает радикальные изменения в сторону множественности, темпоральности (основанной на проявлении стрелы времени) и сложности.

Экспериментальное подтверждение расширяющейся Вселенной заставляет нас рассматривать историю окружающего мира как единого целого. Понятие физической реальности должно теперь включать аспект историзма. Развитие неживой природы и космоса, появление разума и общественных форм движения материи необходимо рассматривать как составляющие единого процесса развития. Отличие нового взгляда столь велико, что «мы можем говорить о новом диалоге человека с природой» [3].

Подчеркнем, что зарождающаяся новая картина мира, — это не совокупность новых астрофизических теорий, новых открытий в естественных науках и планов освоения космоса (точнее, не только это). Законы природы объясняют, как ведет себя Вселенная, но не отвечают на вопрос, почему она такова. Или так — почему существует именно этот набор законов, а не какой-то другой? Новый уровень диалога человека с природой предполагает постановку вопросов о нашем происхождении и судьбе, природе зарождения жизни и смысле эволюции и, наконец, о том, что «не существует ли тайного механизма, вследствие которого все в мире не может быть ничем иным, чем оно есть» [4].

Задача создания цельной научной картины мира изначально содержит противоречие: наши знания об окружающем мире определяются биологической и социальной эволюцией; в то же время познающий разум есть продукт эволюции Вселенной. Дж. Пенроуз [4, 5] это противоречие изобразил в виде трех взаимосвязанных миров: Платоновского мира идей, Физического мира и Ментального мира (рис. 1.1). Чуть подробнее особенности этой триады обсуждаются далее, однако, отметим, что этот подход рассматривает активное сознание как «ингредиент, который не находится за пределами науки». Сознание, таким образом, является частью Вселенной, а потому «любая физическая теория, которая не отводит ему должного места, заведомо не способна дать истинное описание мира».

Критерий истины и «моделезависимый реализм». *Прежде чем кратко рассмотреть факты и представления, лежащие в основании новой картины мира, необходимо остановиться на важном методическом моменте. Все, о чем идет речь, относится к научной картине мира, хотя право на существование имеют и иные (например, религиозные), которые здесь не обсуждаются. Однако, определяя*

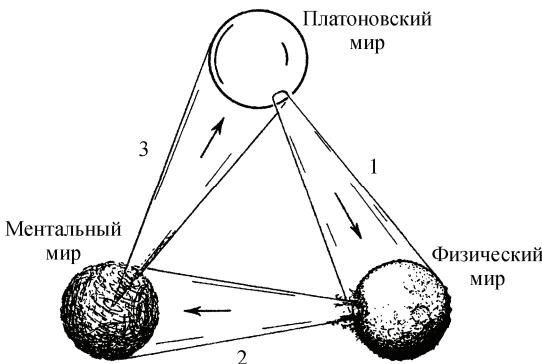


Рис. 1.1. Совокупность трех миров по Дж. Пенроузу [5]

научную картину мира, необходимо уточнить пределы ее применимости, на что, собственно, она претендует. Этот вопрос связан с проблемой пределов применимости наших знаний, критерия их истинности и роли субъекта познания. Этот большой вопрос, относящийся к сфере теории познания (эпистемологии), не может быть здесь рассмотрен обстоятельно. Поэтому здесь стоит сослаться на фундаментальные работы К. Поппера [1, 6], а также популярное изложение С. Хокинга и Л. Млодинова [7] (приводимые ссылки отражают, разумеется, пристрастия автора).

Существо этих взглядов можно свести к идее «моделезависимого реализма» [1, 6], которая утверждает, что не существует концепции реальности, не зависящей от теории. То есть любая картина мира «представляет собой модель (как правило, математической природы) и набор правил, соединяющих элементы этой модели с наблюдениями». Такая точка зрения существенно отличается от классической («рационализма»), которая рассматривает наблюдателя и наблюдаемый объект как части реально существующего мира, различие между которыми не имеет существенного значения. При этом мир состоит из объектов, имеющих вполне определенные свойства, наши восприятия и измерения вполне им соответствуют, а теории — это способ их описания.

Однако современная физика встречает существенные трудности, оставаясь на подобной «рационалистической» точке зрения. Квантовая механика, вполне адекватно описывающая природные явления, постулирует, что частица не имеет определенной скорости и положения до тех пор, пока они не измерены наблюдателем. Поэтому неправильным становится утверждение о том, что измерение дало определенный результат, потому что измеряемая величина имела это значение во время измерения. Оказывается, что некоторые объекты вообще не существуют сами по себе, а возникают лишь как часть системы (ансамбля). И более того, учитывая квантовую природу Вселенной, ее историю нельзя рассматривать как единственную с четко определенной исходной точкой и развитием. Вместо этого необходимо рассматривать истории, перемещаясь назад от настоящего времени. Некоторые истории будут более вероятны, чем другие, а в их сумме будет преобладать единственная история, которая начинается с возникновения Вселенной и заканчивается в рассматриваемом состоянии. Из этого вытекает совершенно другой взгляд не только на космологию, но и на отношение между причиной и следствием. Истории, включенные в эту (фейнмановскую) сумму, не имеют независимого существования, они зависят от того, что измеряется. Скорее мы создаем историю своим наблюдением, чем ее история создает нас.

От этой достаточно парадоксальной оценки активной роли субъекта познания вернемся к тому вопросу, ради которого принято это краткое обсуждение. Насколько истинной является картина, построенная с помощью современной науки? Насколько близки к реальности наши современные представления об окружающем нас мире? И что, собственно, является критерием научности?

Эту последнюю проблему К. Поппер [1, 6] назвал проблемой демаркации или проблемой проведения границы между высказываниями (системами высказываний) эмпирических наук и всеми другими высказываниями — религиозными, метафизическими или просто псевдонаучными. Решением этой проблемы является критерий верифицируемости (или фальсифицируемости). Согласно этому критерию для того, чтобы считаться научными, высказывания должны быть способными вступать в конфликт с возможными или мыслимыми наблюдениями. В подходе К. Поппера совпадают понятия научности, верифицируемости и осмысленности. «Предложения, которые можно отнести к области науки, должны быть такими, чтобы была возможность верифицировать их с помощью предложений наблюдения».

Как видим, с этой точки зрения все законы и теории остаются принципиально временными, предположительными или гипотетическими, даже если мы чувствуем себя неспособными сомневаться в них. До того, как теория окажется опровергнутой, мы не можем знать, в каком направлении ее следует модифицировать. По существу, это есть метод проб и ошибок или более правильно — метод предположений и опровержений. Суть его состоит в критическом и конструктивном отношении к ошибкам, которые ученый стремится обнаружить для того, чтобы опровергнуть свои теории с помощью найденных аргументов, включая обращение к наиболее строгим экспериментальным проверкам.

Обсуждаемый подход к проблеме демаркации несколько непривычен для естествоиспытателей. Во всяком случае, противоречит более «естественным» идеям, в основе которых лежит вера в «эмпирическое обобщение» [8].

Прикосновение к теме нового диалога человека с природой требует небольшого, но принципиального экскурса в миропонимание мыслителей античности и нового времени. Постигание закономерностей материального мира и человека как единого процесса во многом есть возвращение к греческой традиции. Однако нас будет интересовать не столько то, что космологические представления античных философов созвучны некоторым выводам современной космологии (подобие строения элементарных частиц и метagalactic, возникновение Вселенной из вихря, антропный принцип). Важно то, что греческая философская тради-

ция через позднейшую западноевропейскую сформировала такие мировоззренческие (а также не затрагиваемые здесь нравственные и эстетические) ориентиры, которые могут объяснить многое в становлении нашего сегодняшнего мировосприятия.

1.2. Античный космос как предел обобщений

Современная физика и космология вносят в свою предметную область проблемы, аналогичные поднимавшимся античной рациональностью: почему Вселенная устроена так, а не иначе, почему в ней все связано со всем? Вопрос «почему?» в отношении физических объектов есть вопрос о первоначалах и первопричинах, поставленный еще Аристотелем [9].

В поисках ответа на эти вопросы греческие философы выработали подход, который сегодня называют космоцентрическим: при выявлении некоей сущности природных явлений или вещей ее с необходимостью переносят на Вселенную. Космос представлялся грекам таким, каким его наблюдают, — целым, единым миром, напоминающим живой организм, который можно видеть, слышать, осязать, а мироздание — организовано, упорядоченно, целесообразно, пропорционально и подчинено законам. Причем такое мироздание воспринималось греками как самоочевидное, данное человеку непосредственно [10].

Согласно Гераклиту этот космос, один и тот же для всего существующего, не создал никакой бог и никакой человек, но всегда он был, есть и будет вечно живым огнем, мерами загорающимся и мерами потухающим. Для Пифагора космос есть выражение высшей гармонии, он сравнивается с огромным музыкальным инструментом, неким музыкальным Универсумом. По Демокриту космос устроен и управляется подобно человеческому организму, который Демокрит называет микрокосмом; если это возможно для живого существа, почему это невозможно для Вселенной в целом? Ведь если это происходит в микрокосме, то, следовательно, и в макрокосме. И на этапе зрелой классики для философского мышления он, по-прежнему, остается чувственно-материальным миром, воплощенном в звездном небе. Аристотелю космос представляется пространственно-конечным и шаровидным, кроме которого нет больше ничего. Движение небесных тел неизменно и по своей природе божественно, т. е. допускает описание с помощью математических идеализаций. А для подлунного мира математическая точность не характерна. Мир разделен на священное пространство, вечное, исполненное высшего смысла, чуждое случайности. В обычном пространстве все подвержено игре случая, имеет свой

срок и обречено на гибель. Аристотелевская природа построена на конечных причинах, цель всякого изменения — реализовать в каждом организме идеал его рациональной сущности. В этой сущности, которая есть и его окончательная формальная и действующая причина, — ключ к пониманию природы.

Для космоцентрического мировосприятия мир — это космос, включающий в себя все природное и духовное, которое находится в становлении, вращении, вечном возвращении к самому себе. А. Лосев писал, что «философия греков эпохи классики есть учение о космосе, об элементарных стихиях, об их возникновении и уничтожении, и о космических законах этого становления» [10]. Согласно А. Лосеву античная концепция космоса предельно гармонична; сам термин указывает на лад, строй, порядок, красоту. «Этот космос вечно переходил от хаоса к всеобщему оформлению и от этого последнего к хаосу. Такой космос можно сравнивать с чем угодно, но только не с новоевропейской Вселенной, которая есть абсолютно темное, абсолютно однородное и неподвижное, не имеющее никакой реальной границы и очертания пространство, в котором затеряна и растеряна аморфная пыль бесконечных миров-атомов» [10].

В космоцентрических концепциях мироустройства античных мыслителей космос — это предел любых обобщений. По А. Лосеву античный космос, кроме того, воплощает такое миропонимание, в котором человек пытается сохранить не только свою соразмерность миру, но и сам мир. Таким образом, человек рассматривался как нечто включенное в широкий контекст бытия, всецело подчиняющийся законам «космической», т. е. природной упорядоченности. В этом смысле человек — космический феномен, органический элемент космоса. Для сегодняшней проблематики освоения космоса идея соизмерения человека как микрокосма и Вселенной как макрокосма становится одной из центральных.

1.3. Космос в мире классической механики

Представления Ньютона и Лапласа о божественном и неизменном небе можно в известной степени отождествить с миропониманием Аристотеля. Однако по Аристотелю точное математическое описание применимо только к небесному миру. В то же время классическая наука как бы низвела небо на землю. Подвергнув сомнению утверждение Аристотеля о том, что математика кончается там, где начинается природа, они усматривали свою задачу не в поиске незыблемого, скрывающегося за изменяемым, а в расширении изменчивой природы до границ мира.

Эпоха классической механики коренным образом изменила представления о роли науки. Новые знания о движении небесных тел послужили основой законов, которые с невиданной доселе точностью описывают как движения планет на небе, так и тел на Земле. При этом наука не только описывает и предсказывает изменения природных процессов, а является также способом воздействия на окружающий мир. Вооруженный новыми знаниями человек сможет создавать новые устройства и механизмы, использующие на его благо природные силы и ресурсы

Место космоса в системе взглядов нового времени на мироустройство сформулировал И. Кант в [11]: «необходимо обнаружить систему, связующую воедино всю бесконечность звеньев великого творения, и вывести образование самих мировых тел и происхождения их движения из первичного состояния природы, используя законы механики». Такая задача науки объясняется универсальностью законов, открытых И. Ньютоном и Г. Лейбницем. Математическая формулировка законов движения одинаково применима к явлениям любого масштаба, т. е. к движению атомов, планет и тел на поверхности Земли. Причем универсальность относится не только к силам гравитации. Открытие других сил (таких как электростатическое взаимодействие) может изменить эмпирическое содержание закона движения, но не отразится на его форме.

Согласно Ньютону, не существует ни одного природного явления, которое не было бы вызвано силами притяжения и отталкивания, т. е. теми же действующими силами, что и движение небесных светил и свободно падающих тел. Могучий индуктивный метод Ньютона определил главные черты новой, сформировавшейся на его основе гравитационной, а точнее, космофизической картины мира, которая под именем ньютоновской на два века стала основополагающим фактором в развитии естествознания. Эта картина считалась применимой ко всем ситуациям, в которых естественный порядок (в том числе моральный, социальный, политический) допускает описание с помощью единой всеобъемлющей гармонии. Так, в химии — это сродство, в медицине — жизненная сила. Законы сродства (следуя которым, составные части различных веществ разъединяются для того, чтобы, объединившись вновь в иных сочетаниях, образовать однородные вещества) — такие же, как и общий закон, которому подчиняются взаимодействия между небесными телами [12].

С точки зрения научной картины мира, основанной на ньютоновском миропонимании, произошло разрушение барьеров, отделявших Вселенную от Земли, объединение и унификация того, что ранее считалось хаотичным и бессвязным. Формирование новой

системы взглядов вполне обоснованно называют триумфом новой универсальности. «Одним из главных источников неотразимой привлекательности современной науки было ощущение, что она открывает вечные законы, таившиеся в глубине нескончаемых преобразований природы. Открытие порядка в природе рождало чувство интеллектуальной уверенности: «...природа, в которой мы живем, является для нас «интеллектуализированной», умпостигаемой: она вся — порядок и разум. Как и тот ум, который ее мыслит и среди которой он движется» (цит. по [10]). Таким образом, освещенным солнцем умпостигаемого мог считаться весь мир, подчиняющийся неизменным и вечным законам.

Однако новая картина мира, в которой любое событие однозначно определяется начальными условиями, исключает время и становление. В этом мире все происходит подобно вращению планет по неизменным орбитам, происходят только те события, которые выводятся из мгновенного состояния системы. В такой картине мира любой момент времени прошлого, настоящего или будущего неотличимы. Фундаментальные процессы — детерминированные и обратимые, а случайность и необратимость — исключения. Все происходящее должно быть объяснимо с помощью незыблемых общих законов.

Реальность, описываемая классической динамикой, характеризуется тезисом — все задано (но и все возможно: общность законов динамики уравнивается произволом выбора начальных условий), с принятием законов Ньютона природа становится законопослушной, покорной и предсказуемой вместо того, чтобы быть хаотичной, нерегулярной и непредсказуемой. Но какова связь между смертным нестабильным миром и незыблемым миром динамики?

Тезис классической науки о том, что мир устроен просто и подчиняется обратимым во времени законам, привел к отчуждению человека от мира. Классическая наука отрицала становление и многообразие природы, бывшие по Аристотелю атрибутами низменного подлунного мира. Отсюда — раздвоенность и колебание между миром-автоматом и теологией с ее миром, подвластным богу. Однако автомат нужен внешний источник.

Парадокс классической науки — она открыла нам мертвую пассивную природу, поведение которой подобно автомату, действующему по предписаниям программы. Кризис — культурные последствия триумфа классической науки, раскол между естественными и гуманитарными науками, противопоставление повторяющегося и общего уникальному и специфичному. В этом

смысле описание, предоставляемое наукой, тавтологично, так как и прошлое, и будущее содержатся в настоящем [13].

Ученые эпохи Просвещения были убеждены, что после больших, но конечных усилий можно познать мир и Вселенную полностью, изучить все их законы и охватить Разумом все их разнообразие. Для этого времени характерно представление о завершенности Творения и, как следствие, возможности его полного познания, отсутствия непреодолимых препятствий для Разума. Одним из самых глобальных проектов эпохи Просвещения стала «Энциклопедия» Д. Дидро и Ж.-Б. д'Аламбера (ее рубрикатор был основан на принципах Ф. Бэкона), целью которой было создание компендиума всех новейших знаний.

В нашей эпохе, напротив, мы живем с представлением о бесконечностях мира — бесконечности Вселенной, бесконечности микро- и макромира, бесконечности развития, бесконечности разнообразия. Познание для нас тоже бесконечный процесс, который будет длиться вечно, и мы никогда не будем полностью понимать мир, в котором живем. Нам чужд оптимизм Просвещения, а ученым 18 века были бы чужды наши легкость в существовании среди бесконечностей и когнитивный скептицизм. Но и представление о конечности закономерностей и разнообразия мира и об их бесконечности — это только наши представления. Ждет ли нас в будущем конец познания и науки и полное понимание мира или нет, — этого мы достоверно знать не можем.

1.4. Парадоксы классического описания физической картины мира

Картина мира, в основе которой лежит классическая механика, привела не только к конфликту естественных и гуманитарных наук, она обозначила принципиальные противоречия внутри наук естественных. Действительно, совершенная и самодостаточная механика, описывая мир, представляет его как неизменное тождество. Отсутствие в ней стрелы времени с необходимостью приводит к эквивалентности прошлого и будущего, полному совпадению причины и следствия, а временное и преходящее переходит в разряд иллюзорного. Это полностью противоречило естественнонаучным представлениям 19 века об эволюции живой материи (и особенно теории Дарвина), закономерностям термодинамических процессов. В книге И. Пригожина и И. Стенгерс [3] возникшие противоречия рассматриваются с точки зрения трех парадоксов: «термодинамического», «квантового» и «космологического».

Первый из них состоит в том, что с точки зрения термодинамики Вселенная неотвратно движется к своей тепловой смерти. Противоречие двух теорий — классической динамики и термодинамики — Л. Больцман формулировал следующим образом: «...мы либо предполагаем, что Вселенная находится в невероятном состоянии, либо допускаем, что эоны, в течение которых длится это невероятное состояние, пренебрежимо малые величины по сравнению с возрастом Вселенной» (цит. по [13]). Устранение этого противоречия связано с видоизменением базовых физических законов с включением в них необратимости событий и стрелы времени. Это позволяет создать новые основания для синтеза, который бы объединял свойства макромира и микромира, поскольку в фундаментальное описание природы вводится необратимость.

Для понимания «квантового парадокса» необходимо помнить, что в отличие от классического описания, где наблюдаемые траектории даются непосредственно, квантовомеханические волновые функции соответствуют амплитудам вероятности. При этом при переходе к собственно вероятностям возникает влияние субъекта наблюдения, точнее, производимые им измерения. В [14] подробно рассмотрены пути устранения того обстоятельства, что физическое описание становится зависимым от наблюдателя. В частности, показано, как эволюция хаотических систем трансформирует волновые функции в ансамбли, а доступ наблюдателя к природе определяет квантовый хаос, а не акт наблюдения.

И, наконец, «космологический парадокс» связан с введением «событий» в традиционную формулировку законов природы, что конкретно связано с Большим взрывом. С точки зрения теории динамического хаоса, «события» являются следствием возникновения неустойчивостей хаоса, что имеет место на всех уровнях, начиная с космологического. В трактовке Р. Пенроуза [5] причины появления в описании природы стрелы времени, необратимости и второго начала термодинамики лежат в космологии, а именно в том типе особенности, с которой началось существование Вселенной.

Эти парадоксы связаны между собой и проистекают из дуализма предложенного описания физической картины мира. С одной стороны, действуют обратимые во времени законы микро- и макромира, а с другой — феноменологические законы с нарушенной симметрией во времени (описание возникновения жизни относится именно к этому уровню). Мечтой лучших умов на протяжении многих лет было создание некоей универсальной теории, дающей полное описание физической реальности, «теории всего». С точки зрения новой физики такая теория должна включать в себя динамическую неустойчивость, т. е. учитывать стрелу

времени, необратимость и вероятность. В противном случае «теория всего» свела бы Вселенную к некоторому вневременному описанию. Учет динамической неустойчивости приводит к такому описанию, из которого следуют не только законы, но и события, что обуславливает вероятностное возникновение как регулярных процессов, так и неустойчивостей.

Приведем характеристику такой теории (если она возможна) в яркой интерпретации В. Тирринга (цит. по [4]): «Прототеория должна потенциально содержать все возможные пути, которые могла бы избрать Вселенная. Располагая соответствующими уравнениями, физика оказалась бы в той ситуации, которая создалась в математике около 1930 года, когда К. Гедель показал, что математические конструкции могут быть непротиворечивыми и, тем не менее, содержать истинные утверждения, не выводимые в их рамках. Аналогично «прототеория» не будет противоречить опыту, но она далеко не будет определять все. По мере того, как Вселенная эволюционирует, обстоятельства создают свои законы»

Такое представление Вселенной открывает существенно иную картину мира. Если рождение Вселенной не следует из детерминистического закона, а лишь реализует одну из возможностей, то, соответственно, и все законы физики являются реализацией некоторых возможностей, причем другие никоим образом не запрещены. Поэтому и реализация нашего мира, включая человеческое сознание, является результатом одной из возможностей, а наше будущее перестает быть данным, поскольку оно не заложено в настоящем.

В этом месте стоит обозначить естественные для рационального ума естествоиспытателя сомнения в предлагаемом «новом диалоге с природой». Первое из них связано с фундаментальным подходом физиков к необходимости отделения чистого объективного знания от областей неопределенного и субъективного. «Бог не играет в кости», — говорил по этому поводу А. Эйнштейн; добавим менее известное: «если бы пришлось отказаться от строгой причинности, то я предпочел бы стать сапожником или крупье в игорном доме, нежели физиком» [14]. Хорошо известно, каким драматическим был выбор в пользу классического описания В. Паули при создании квантовой механики и Л. Больцмана при создании термодинамики. Эта позиция отражает трудность, которую рациональный ум естествоиспытателя испытывает, используя случайность как механизм описания реальности и получения универсального ответа на природу мироустройства.

Вторая трудность связана с понятием становления как неотъемлемого элемента реальности и условия человеческого познания, а именно, с соотношением между законами и «событиями», без кото-

рых невозможно становление. Поясним это на частном примере, относящемся к первоначальному описанию Н. Бором квантового мира. В нем энергетические уровни атомов задаются «законами», а переходы между уровнями — «событиями». Наш доступ к реальности, описываемой квантовой механикой, определяется «событиями», поскольку на эксперименте мы регистрируем именно «события» (такие как испускание или поглощение фотонов). Вместе с тем основное уравнение квантовой механики — уравнение Шредингера — не приписывает «событиям» объективного смысла. Это уравнение описывает эволюцию волновой функции подобно тому, как классическая механика описывает траекторию частицы, т. е. оно детерминистично и обратимо во времени. Одна из основных проблем квантовомеханического описания — переход от амплитуд (описываемых уравнением Шредингера) к собственно вероятностям. Поскольку само уравнение не предполагает такой процедуры, вводится дополнительная процедура — редукция (или коллапс) волновой функции.

В интерпретации процесса редукции и содержится трудность, которая выходит за пределы квантовомеханического подхода. Речь идет о роли наблюдения (т. е. субъекта) в процессе редукции. Так называемая копенгагенская интерпретация сводится к тому, что квантовые системы обладают теми или иными свойствами только после того, как эти свойства измерены. В то же время существование измерительного прибора предполагается в теории, но не выводится из нее. Одна из интерпретаций этого парадокса, предложенная фон Нейманом, состоит в том, что передаточной средой между квантовой системой и макромиром является человеческое сознание.

Захватывающим идеям относительно интерпретации процесса редукции посвящена обширная специальная и популярная литература [4, 5, 13]. И если для квантовой механики разработаны подходы по выведению из теоретической схемы субъективного элемента [15], то идеи об очень общем характере «квантовых наблюдений» остаются в центре дискуссий о новой физике. Так, П. Дэвис отмечает, что «граница между физикой очень малого и очень большого может быть есть интерфейсом между духом и материей — граница, которая окажется наиболее многообещающим достоянием» (цит. по [4]). Эта точка зрения очень емко выражена одной из формулировок т. н. сильного антропного принципа: «наблюдатели необходимы для обретения Вселенной бытия», иными словами, «Вселенная должна иметь свойства, позволяющие развиться разумной жизни». Традиционная физика усматривает в таком подходе обращение к метафизическим подходам, которые вообще-то чужды науке.

Отмеченная неудовлетворенность физиков может быть объяснена недостаточным пониманием фундаментальных физических законов, «которое препятствует построению концепции «разума» в физических и логических терминах». О концепции разума чуть ниже, а по поводу недостаточного понимания законов природы уместно привести мнение авторов [3, 13], согласно которому нынешний этап построения научной картины мира характеризуется как прокладывание тропинки, избегающей драматической альтернативы между слепыми законами и произвольными событиями.

Захватывающую картину становления нового диалога с природой невозможно передать в рамках приведенного краткого и упрощенного изложения. Удовольствие от погружения в глубокое и яркое описание этого процесса в книгах, приведенных в списке литературы, стоит того, чтобы прочесть их целиком.

Следует отметить, что новая физика, заставляющая пересмотреть смысл законов природы, существенным образом обращается к Вселенной не только как вместилищу всего материального мира, но и как пределу возможных обобщений. Аристотель ввел фундаментальное различие между божественным и вечным небесным миром и изменяющимся и непредсказуемым подлунным миром, к которому принадлежит и наша Земля. Классическая наука в определенном смысле была низведением на землю аристотелевского описания небес. Становление нового мировоззрения, свидетелями которого мы являемся, можно рассматривать как преобразование аристотелевского подхода, как возвращение с Земли на небо.

1.5. Материальный мир (Вселенная) и сознание: поиск общего подхода к пониманию

«Преобразованное» аристотелевское мировоззрение драматически изменяет научную картину мира, вводя новое понимание материи и сознания. Оказывается, что активность материи порождает необратимые процессы, которые, в свою очередь, организуют материю. Эта организация воплощается в эволюционности: от Большого взрыва и формирования ядер и химических элементов до звезд и планет, биологических видов и человека. С этой точки зрения познающий разум есть продукт эволюции Вселенной и должен рассматриваться в рамках физических теорий. Однако разум, оперирующий символами, сам создает новую физическую реальность; в современной науке накоплена масса примеров, когда казалось бы абстрактные и замысловатые математические конструкции оказывались основой описания физической

реальности. Квантовая механика, общая теория относительности, физика элементарных частиц — это примеры фундаментального единства оперирующей символами математики и устройства мироздания. Можно говорить и об обратном соотношении. Математики отмечают поразительную математическую плодотворность тех концепций, которые лежат в основе физических процессов.

Современное понимание проблемы подсказывает, что вряд ли известен тот единственный подход, который бы обещал решение проблемы сознания. Скорее наоборот, многие исследования напоминают попытку понять принцип работы компьютера, изучая механические или химические свойства узлов процессора [5]. Сверхзадачу понимания феномена сознания как вместилища всего сущего И. Гете сформулировал так: «Если бы я не носил в себе весь мир, я был бы слепцом со здоровыми глазами» (цит. по [15]).

Изложенное во многом объясняет тот факт, что в последнее время наблюдается активное вторжение «неспециалистов» в ту сферу, которой до сих пор занимались нейробиологи и психологи. В объеме данной работы невозможно даже кратко рассмотреть интригующую тему поисков «науки о сознании». Попробуем, однако, зафиксировать наше внимание на одном из подходов, спровоцированном дерзкой гипотезой, выдвинутой Р. Пенроузом [5]. Удивительный феномен сознания предлагается объяснить посредством упоминавшейся выше объективной редукции, которая должна следовать из (несозданной пока) теории квантовой гравитации. Именно эта теория, объединяющая макро- и микромиры, призвана объяснить механизм образования и развития Вселенной. Притягательность этой идеи очевидна, поскольку предлагается единый подход к объяснению материального мира (Вселенной) и сознания на основе общего физического подхода. Поэтому останавливаемся на этой теме, отдавая отчет в том, что рассмотрение Р. Пенроуза является гипотезой и вызывает бурные споры.

Подход Р. Пенроуза, как представляется, не противоречит современным представлениям о мозге и сознании и является попыткой объяснения, которая лежит в иной плоскости, нежели подходы нейробиологии, психофизиологии и некоторые другие. Попробуем привести резюме некоторых известных нам положений, которые не позволяют с «порога» признать «физический» подход неприемлемым.

Во-первых, надежно установленным считается материальный носитель сознания: разум создается нейронами, взаимодействующими посредством электрических импульсов. Нобелевский лауреат Ф. Крик [16] мысль о том, что сознание формируется не чем иным, как активностью нейронов (первоначально сформули-

рованную как гипотезу «Astonishing Hypothesis»), выразил очень выпукло: «ваши радости и печали, воспоминания и амбиции, ваше чувство личности и свободной воли на самом деле не более, чем поведение огромного числа нервных клеток и ассоциированных молекул». Таким образом, наши знания о внешнем мире — это модель, построенная на сигналах, которые перерабатываются в коре головного мозга неким алгоритмом. При этом строение коры головного мозга однородно, и при выполнении разных функций она использует один и тот же инструмент (это показал выдающийся нейрофизик В. Маунткастл [17]). Поэтому алгоритм коры головного мозга един независимо от того, из какого органа чувств обрабатывается информация или о каком типе восприятия идет речь. Кора головного мозга сама себя подразделяет на специфические функциональные зоны, руководствуясь опытом человека.

Во-вторых, принцип работы мозга принципиально несводим к работе компьютера [18, 19, 20]. Оставляя в стороне большую тему создания искусственного интеллекта, сформулируем (вслед за Дж. Хоккинсом — крупнейшим специалистом в области компьютерных технологий и одновременно исследователем проблем интеллекта) особенности памяти человека, которые коренным образом отличают ее от памяти компьютера. Неокортекс запоминает не отдельные элементы окружающего мира, а их последовательности, причем запоминание происходит в инвариантной форме; вспоминаются эти последовательности ассоциативно, а сохранение последовательностей осуществляется иерархически (подробности — в замечательной книжке [20]). Дж. Хоккинс считает основой интеллекта и первичной функцией мозга прогнозирование, точнее запоминающе-прогностическую его способность. Мы умные — за счет количества повторяющихся элементов универсального алгоритма коры головного мозга, гибкость и мощь которого объясняют сложность наших моделей поведения.

В-третьих, мозг работает не с информацией в компьютерном понимании этого слова, а со смыслом, или значением (этот аспект разбирает известный нейробиолог С. Роуз) [19]. А значение — это исторически формируемое понятие, оно находит выражение в процессе взаимодействия индивидуума с природной и социальной средой. Кроме того, С. Роуз считает, что память не заключена в каком-то небольшом наборе нейронов, а должна пониматься как свойство всего мозга и даже целого организма. Поэтому уровень, на котором возможно понимание памяти, — это уровень системы в целом.

Эти и некоторые другие результаты исследований работы мозга, признанные революционными, вместе с тем не снимают

вопроса о механизмах уникальных функций мозга. Каким образом формируется, например, иерархичность запоминания последовательностей событий, которая хранит иерархическое строение внешнего мира? Для того чтобы подобраться к ответам на такого рода вопросы или, точнее, выработать методологию поисков, С. Роуз [19] предложил подход, который состоит в использовании различных «языков» описания. Автор использует три языка, которые соответствуют разным измерениям познания: морфология картирует пространство, биохимия концентрируется на составе, а физиология описывает события во времени. Для полного понимания процесса следует использовать все языки и стремиться применять «перевод с одного объективного языка (будь то язык мозга или сознания) на другой и обратно.

Теперь вернемся к «физическому» подходу Р. Пенроуза [5], который можно трактовать как один из таких языков, который использует физические механизмы для описания функций сознания.

Идея Р. Пенроуза базируется на двух положениях. Первое состоит в том, что математическое мышление, следовательно, и умственная деятельность в целом не могут быть сведены к вычислительным процедурам, т. е. «чисто компьютерной модели разума». Основанием для этого утверждения служит интерпретация известной теоремы Геделя о неполноте: «как только мы научились автоматизировать некоторую часть математического мышления, у нас сразу появляется понимание, как выйти за его пределы». Согласиться с этим утверждением означает признать тот факт, что в нашей сознательной деятельности в целом есть нечто, выходящее за рамки алгоритмических действий. Это, в частности, означает, что будущее не будет вычислимым на основе настоящего, даже если оно им и определяется.

Второе базовое положение основывается на том, что реализация невычислительной активности мозга основана на физических законах, однако природа этой физической реальности не вполне ясна. Р. Пенроуз считает невозможным описать такое существенно «неалгоритмическое» поведение в рамках общепринятых физических теорий. Для решения этой проблемы предлагается разработать недостающую теорию, которая одновременно явится и искомым звеном между квантовой механикой и общей теорией относительности (теория квантовой гравитации). Новый физический процесс должен сочетать в себе принципы квантовой теории с принципами общей теорией относительности, т. е. представлять собой квантово-гравитационный феномен.

Пенроуз попытался сформулировать гипотезу о том, где, собственно, реализуется этот ответственный за понимание невы-

числимый механизм работы мозга: микротрубочки цитоскелета, которые обуславливают макроскопическую квантовую когерентность. Сознание, с этой точки зрения, есть проявление такого квантовосцепленного внутреннего состояния цитоскелета, которое обуславливает взаимодействие между процессами квантового и классического уровней.

Соображения Пенроуза являются догадками, а рассмотренный феномен сознания, как он сам признает, сводится к математическому пониманию («другие виды понимания к нему сводятся» — очень спорный момент). Более того, эта гипотеза может целиком оказаться неверной. Вместе с тем, в работах [5, 19] сделан принципиальный шаг к построению новой естественно-научной картины мира. Обратим внимание на «негативность» основных положений: теория сознания отсутствует, компьютерная модель сознания некорректна, физический механизм реализации сознания еще предстоит отыскать. В совокупности эти «негативные» соображения складываются в методологию поиска полной научной картины мира, в которой сознание есть часть нашей Вселенной. И более того, разгадка тайны взаимосвязи трех миров — физического, ментального и «платоновского царства чистой математики» лежит в русле предложенной методологии.

«Каждый осознающий себя мозг сплетен из тончайших физических составляющих, неясным пока образом извлекающих сознание из фундаментальной структуры математически обусловленной Вселенной — с тем, чтобы мы, в свою очередь, вооружившись платоновским пониманием, смогли получить своего рода прямой доступ к первопричинам функционирования Вселенной на всевозможных уровнях» [5].

В этой главе мы попытались показать, как исследования космоса привели к знаменательным сдвигам в нашем понимании мироустройства и ряда категорий, определяющих наши взгляды на окружающий мир. Оказалось, что космология и космическая физика, которые в современном мире понимают не так много людей, способны коренным образом изменять базовые мировоззренческие понятия широкой аудитории.

Кажется важным, что космос для нас — это не бескрайний океан, который интересен нам только явлениями вблизи берега и может влиять на погоду на побережье. Оказывается, этот океан — не только наша среда обитания, но и отражение всех возможных физических реальностей и даже нашего сознания. Поэтому не будет преувеличением прогнозировать возможность ответа на вопросы: откуда мы произошли, кто мы и какова наша судьба, которые ставят исследователи космоса.



О КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Прикосновение к великой тайне начала Вселенной является, может быть, самым волнующим моментом в развитии естественных наук

Я.Б. Зельдович

2.1. Введение

В предыдущей главе рассмотрена принципиальная роль новых знаний о Вселенной в становлении научной картины мира, мировоззрения 21 века. «Новый диалог с природой» стал возможным благодаря прорывам в естественных науках, многие из которых прямо или опосредованно связаны с космическими исследованиями. Тема этой главы — сегодняшний и будущий вклад космонавтики в получение нового знания и развитие конкретных наук. Этот вклад можно характеризовать с разных позиций: новых возможностей традиционных наук (таких как астрономия, астрофизика, науки о Земле) или возникновения новых научных направлений (таких как космическая биология и медицина, астробиология, космическое материаловедение). Особое место занимают космические миссии за пределы земной орбиты Space Exploration (исследование, связанное с экспедицией, или освоение небесных тел с помощью космической техники); их вряд ли можно рассматривать в рамках привычной классификации научных дисциплин. Это один из самых ярких примеров междисциплинарной деятельности, в которой неразделимы фундаментальные и прикладные исследования. Практически реализованный переход от наблюдения к экспериментальному исследованию космических объектов *in situ* обусловил высочайшую оценку роли космических миссий на заре космической эры: «крупнейшее достижение человеческого гения», «открытие новой эры в истории человечества». В то же время, за 50 лет практической космонавтики изменилась парадигма космической деятельности (см. Введение) и, соответственно, взгляд на развитие наук о космосе.

Как только космические исследования вышли из тени оборонных программ после окончания «холодной» войны, отношение к ним изменилось существенно. Сегодня космические агентства выдвигают очень высокие требования к научному уровню проектов (в идеале научные задачи формулируются нобелевскими лауреатами); незыблемым требованием стало использование прорывных технологических решений, кроме того, специальные усилия прилагаются для удешевления космических проектов и комплексирования задач. Таким образом, в сфере научных исследований сложилась своеобразная система маркетинга, которая имеет не только положительные стороны: часто процессы отбора, оптимизации миссий и удешевления технических решений принципиально затягивают их реализацию (так, астрономы озабочены большим перерывом в работе больших телескопов после завершения миссии телескопа Хаббла); кроме того, вокруг проектов формируются группы ученых, препятствующие реализации новых идей. В результате оптимизации различных подходов сложилась система организации космических миссий двух типов: масштабные научные проекты (космические телескопы, миссии к планетам или астероидам, которые в европейских программах называют Cornerstone Missions), а также малые узконаправленные миссии (типа популярной программы CubSat). Последние успешно используются небольшими командами исследователей (преимущественно из университетов) и имеют возможность быстро реализовать идею исследования. Однако идея замены крупных миссий большим числом малых (инициатива НАСА в начале 2000-х о постоянном виртуальном присутствии в Солнечной системе) оказалась нереалистичной, поскольку фундаментальный результат требует комплекса разнообразных приборов, работающих одновременно.

Стратегические планы ведущих космических держав в исследованиях космоса и выбор приоритетов космических миссий в последние годы претерпевали серьезные изменения. Начало 2000-х ознаменовалось масштабной инициативой президента США Дж. Буша — Exploration, очертившей горизонты будущих космических полетов: МКС — Лунная база — Марс и далее. Однако «возвращение на Луну» и подготовка марсианских миссий требовали огромных ресурсов (США планировали обеспечить не более половины вложений, а остальную часть должны были внести партнеры), а также серьезных технологических прорывов (особенно в разработке новых носителей). В результате драматической дискуссии в середине 2000-х крупными космическими компаниями была предложена (и правительством США одобре-

на) менее амбициозная программа исследования астероидов, т. е. приоритетность научных миссий была поставлена в зависимость от этапов разработки новой техники. Такая ситуация подвергла сомнению общий принцип построения программ, основанный на научных приоритетах (scientific-driven approach). Новая космическая политика США провозглашает возврат к приоритетам освоения Луны, а затем Марса. Важным моментом Директивы № 1 Президента Трампа (декабрь 2017 года) стало признание важной роли взаимодействия с частным сектором, что отражает новые тенденции сегодняшней космонавтики. Таким образом, ко второму десятилетию нашего столетия не только в американской, но и в программах других космических держав стратегическая задача освоения Луны и планет Солнечной системы вновь стала приоритетом.

Отмеченные изменения связаны не столько со сменой научных приоритетов, сколько с влиянием политиков и крупного бизнеса на программы, которые обеспечивают технологическое доминирование. В аналитических материалах начала 21 века можно встретить оценку состояния освоения космоса в этот период как кризисную или, по крайней мере, переживающую спад. Такая оценка основана на двух обстоятельствах. Первое связано с общим падением интереса публики к космическим миссиям; все нынешние важные события не привлекают общественного внимания так сильно, как первый полет человека в космос или высадка на Луну. Поэтому понятно желание политических руководителей выдвинуть масштабную программу, которая бы вызвала глобальный общественный интерес. Второе обстоятельство связано с ограничениями современной космонавтики: новыми дешевыми средствами выведения и недостаточностью средств на освоение космоса. Нового всплеска космических миссий следует ожидать при условии системного вхождения частного бизнеса в космонавтику, которое демонстрирует Илон Маск и некоторые другие частные предприниматели. Однако наступает ли в космической деятельности такой же перелом, который наблюдался сто лет назад в авиации в связи с приходом частной инициативы, покажет ближайшее десятилетие.

В связи с приоритетностью межпланетных миссий существенно изменились и взгляды космических агентств (в первую очередь НАСА) на эффективность наиболее масштабной международной инициативы — программы Международной космической станции и дальнейших исследований на земной орбите. Создание постоянной исследовательской лаборатории на около-

земной орбите считалось абсолютным приоритетом (в США МКС получила статус национальной лаборатории); однако позднее фокус исследований на МКС заметно сместился в сторону проблематики обеспечения межпланетных миссий. Отметим, что европейские и японские программы орбитальных исследований (а также связанных с ними имитационных экспериментов в параболических самолетных компаниях) имеют несколько большую поддержку. Вероятно, это связано с пониманием закономерностей научного поиска и неизбежностью этапа «рутинных» работ, накопления знаний и навыков.

Несмотря на различие приоритетов национальных космических программ исследовательскую сферу следует признать абсолютным приоритетом. Это касается практически всех ведущих космических агентств; исключения составляют некоторые страны, которые развивают почти исключительно прикладные направления (например, Израиль, Турция, Республика Корея). Космическая наука оправдывает в глазах публики большие космические расходы: национальным достижением американцы считают телескоп Хаббла и МКС, потрясающее впечатление на жителей планеты произвели результаты марсианских миссий, непосредственный контакт с кометой или посадка на далекий спутник. Такой подход разделяется и промышленностью, поскольку научные миссии ставят наивысшую планку для разработки новой техники и сервисов, обеспечивая инновационное развитие космической отрасли и внедрение разработок в другие отрасли. Мнения ученых об уменьшении расходов на научный космос справедливы лишь отчасти, скорее речь идет о перераспределении средств между различными направлениями; кроме того, не всегда точно можно определить границу между собственно исследовательской работой и разработкой техники для конкретных миссий.

Перед тем как рассмотреть приоритетные направления современных научных миссий, сделаем краткое терминологическое отступление, касающееся предмета космических исследований. Международный комитет COSPAR относит к космическим исследованиям (Space Research) сферу научных поисков, которая предполагает использование космической техники [1]. Эта сфера включает в себя: изучение Земли из космоса, геофизику (геодезию), атмосферные исследования, планетологию, астрономию, материаловедение, науки о жизни, фундаментальную физику, а также физику космической плазмы (ионосфера, магнитосфера, космическая погода).

Термин «космические исследования» отличается от других близких терминов, таких как «науки о космосе» (Space Science) или Exploration. Так, к Space Science относят науки, изучающие объекты Вселенной, или, в иных терминах, внеатмосферную астрономию и астрофизику (а также науки о галактиках, физику звезд, планетологию, экзобиологию, астронавтику, космическую защиту).

В [1] приведена классификация областей космических исследований, закрепленная решением Ассамблеи COSPAR, Бремен, 2010 год. В каждой из областей существует комиссия, избираемая научным сообществом, в задачи которой входят оценка текущего состояния исследований в данной сфере, выработка рекомендаций о приоритетах. В соответствии с этими рекомендациями организуются симпозиумы в рамках регулярных Ассамблей COSPAR, тематических конференций и других мероприятий. COSPAR готовит регулярный отчет для ООН о результатах и приоритетах космических исследований. Эволюция перечня дисциплин, приведенных в [1], отражает степень интереса научного сообщества и актуальность той или иной проблемы. Поэтому содержание этого перечня можно считать легитимным отражением того, какие исследования считаются актуальными сегодня.

Настоящий обзор разделен на четыре направления, которые можно полагать традиционными, хотя логика их выстраивания (в зависимости от удаленности объектов от Земли, а не научной проблематики) может быть оспорена. Но в соответствии с приведенным обсуждением проблематики Space Research рассмотрим ниже следующие краткие обзоры:

- космическая астрономия и астрофизика;
- околоземный космос, солнечно-земные связи, космическая погода;
- программы исследований на околоземной орбите в области фундаментальной физики, наук о жизни и физико-химических процессов в невесомости;
- исследования объектов Солнечной системы (космические миссии к Луне, Марсу и астероидам).

Приведенный далее текст основан на официальных отчетах космических агентств, публикуемых в рамках КОСПАР, а также некоторых аналитических обзоров, опубликованных в последние годы международными организациями [2—4] и научными сообществами [5].

2.2. Космическая астрономия и астрофизика

Уникальная роль внеатмосферной астрономии была предсказана задолго до развития практической космонавтики и связывалась с фундаментальным расширением диапазона длин волн, доступных для регистрации (рис. 2.1). Ограничения обычной астрономии обусловлены атмосферными эффектами поглощения и рассеяния, турбулентностью, тепловым излучением и некоторыми другими факторами. Кроме того, космос дает возможность использовать большие расстояния между наблюдательными инструментами (метод интерферометрии со сверхдлинной базой, РСДБ). Большинство впечатляющих достижений космической науки связано именно с всеволновым характером внеатмосферной астрономии, а также с прорывом в развитии измерительных технологий. Совместное применение инструментов наземного и космического базирования обусловило качественный скачок в развитии этой науки. В результате была сформирована проблематика исследований, кардинально изменяющая наши представления об окружающем мире. Существует большое число вариантов формулировок проблематики, принадлежащих космическим агентствам (это часть космической научной политики!) и отдельным ученым. Автору ближе других приведенные ниже краткие и емкие формулировки академика В. Гинзбурга, приведенные им в известной статье «Физический минимум» на начало XXI века» [6].

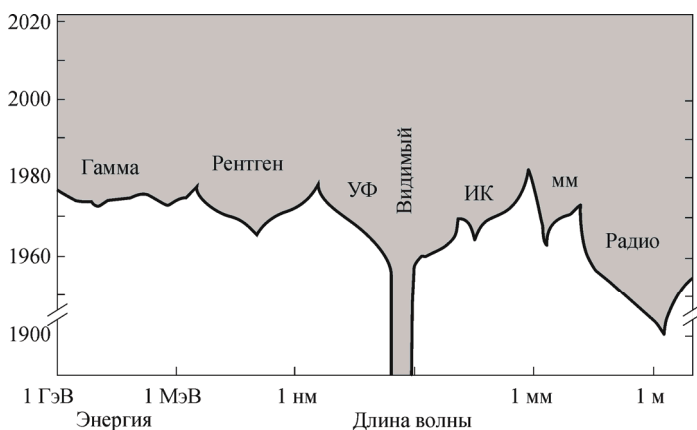


Рис. 2.1. Расширение диапазона регистрируемых длин волн при астрономических наблюдениях в течение 20 века [20]

- *Экспериментальная проверка общей теории относительно-сти.* Проверка ОТО в сильных гравитационных полях — для нейтронных звезд и вблизи черных дыр и вообще для черных дыр.

- *Гравитационные волны, их детектирование.* Прием гравитационных волн, приходящих из космоса. Регистрацией гравитационных волн с помощью системы LIGO (Laser interferometer gravitational-wave observatory, США) положено начало гравитационно-волновой астрономии. Как и в других случаях, весьма важными будут совместные измерения в различных «каналах», в частности, образование сверхмассивных черных дыр совместно в нейтринном, гравитационно-волновом и гамма-«каналах».

- *Космологическая проблема. Инфляция. L-член. Связь между космологией и физикой высоких энергий.* Эта совокупность проблем представляется главной в астрофизике. В частности, определение характера эволюции Вселенной. Установлено, что в эволюцию Вселенной вносит вклад не только «обычное» барионное вещество, но и темная материя, а также некоторая вакуумная материя, или темная энергия. В настоящее время измерения в радиодиапазоне играют наиболее важную роль среди наблюдений, имеющих космологическое значение.

- *Нейтронные звезды и пульсары. Сверхновые звезды.* Сейчас известно порядка 2000 пульсаров с периодом радиоимпульсов (это также период вращения звезды) от $1,56 \cdot 10^{-3}$ с до 4,3 с. У миллисекундных пульсаров магнитное поле (на поверхности) порядка 10^8 — 10^9 Э. У большинства пульсаров с периодом радиоимпульсов от 0,1 до 1 с поле порядка 10^{12} Э. Существование в природе столь сильных магнитных полей является важным открытием. Обнаружены нейтронные звезды с еще более сильными полями (магнетары), достигающими 10^{15} — 10^{16} Э. Магнетары не испускают радиоизлучение, но наблюдаются в мягких гамма-лучах.

- *Черные дыры. Космические струны(?)*. Черные дыры и особенно космические струны — еще значительно более экзотические объекты, чем нейтронные звезды. Космические струны (не следует их путать с суперструнами) — это некоторые (не единственно возможные) топологические «дефекты», могущие возникать при фазовых переходах в ранней Вселенной. Они представляют собой нити, могущие быть замкнутыми (кольца), космических масштабов и с характерной толщиной порядка 10^{-29} — 10^{-30} см. Космические струны еще не наблюдались, даже «кандидаты» на эту роль неизвестны. Поэтому космические струны в «списке» рядом с черными дырами, но со знаком вопроса.

• *Квезары и ядра галактик. Образование галактик.* Вопрос об образовании галактик составляет особую главу космологии. В теоретическом плане ее содержание состоит в анализе динамики неоднородностей плотности и скорости вещества в расширяющейся Вселенной. В результате роста крупномасштабных неоднородностей вещества во Вселенной появляются галактики и скопления галактик.

• *Проблема темной материи (скрытой массы) и ее детектирования.* Это очень крупное и неожиданное открытие, Количество светящейся материи определяется в результате наблюдений в основном в видимом свете. Полное количество гравитирующей материи сказывается на динамике — движении звезд в галактиках и галактик в скоплениях. Установлено, что во Вселенной есть не светящаяся материя, которая проявляется вследствие гравитационного взаимодействия. Темная материя распределена не равномерно, но присутствует везде: и в галактиках, и в межгалактическом пространстве. Так возник один из важнейших и острейших вопросов современной астрономии — какова природа темной материи, часто именовавшейся ранее также скрытой массой?

• *Происхождение космических лучей со сверхвысокой энергией,* открытых в 1912 году, много лет оставалось загадочным. Но сейчас можно не сомневаться в том, что основными их источниками являются сверхновые звезды. Наиболее интересной представляется проблема происхождения космических лучей со сверхвысокими энергиями, превышающими 10^{16} эВ. Наивысшая наблюдавшаяся в космических лучах энергия составляет $3 \cdot 10^{20}$ эВ. Ускорить частицы (например протон) до такой энергии нелегко, но, по видимому, возможно, особенно в активных ядрах галактик. Однако есть ряд трудностей, которые не позволяют удовлетворительно ответить на вопросы о происхождении космических лучей с самой высокой энергией. Проблема действительно загадочна и уже поэтому интересна.

• *Гамма-всплески. Гиперновые.* В конце 60-х годов системой военных спутников Vela зафиксированы гамма-всплески неизвестного происхождения. Их типичные энергии 0,1—1 МэВ, длительность — секунды. Об этом открытии было сообщено лишь в 1973 году. С тех пор гамма-всплески энергично изучались, но их природа долгое время оставалась неясной. Сейчас можно констатировать, что гамма-всплески — следствие мощнейших взрывных явлений, наблюдаемых во Вселенной, Речь идет об энерговыделении примерно до 10^{51} эрг только в гамма-диапазоне. Это суще-

ственно больше, чем оптическое излучение при взрывах сверхновых. Поэтому некоторые источники гамма-всплесков называли гиперновыми. Кандидаты на роль таких источников: слияние двух нейтронных звезд, столкновение или слияние массивной звезды с нейтронной и т. п.

• *Нейтринная физика и астрономия. Нейтринные осцилляции.* Длительное время считалось, что детектировать нейтрино практически невозможно; вопрос о массе нейтрино остается актуальным. Солнце и звезды, как известно, излучают за счет происходящих в их недрах ядерных реакций, следовательно, должны испускать нейтрино. Такие нейтрино, имеющие энергию около 10 МэВ, могут в настоящее время регистрироваться лишь от Солнца. Результаты наблюдений последних лет позволяют утверждать, что проблема солнечных нейтрино в основном решена. Нейтринная астрономия — это не только солнечная астрономия. Особо нужно упомянуть задачу детектирования реликтовых нейтрино с малыми энергиями, быть может вносящими вклад в темную материю. Наконец, буквально «на выходе» находится нейтринная астрономия высоких энергий с энергиями нейтрино, превышающими 10^{12} эВ. Наиболее вероятные источники: ядра галактик, слияние нейтронных звезд, космические топологические «дефекты».

Из перечисленных проблем одной из наиболее значимых (В. Гинзбург называет ее главной) является возникновение Вселенной. Современная стандартная космологическая модель, которая определяет строение и развитие Вселенной, базируется, в частности, на анализе красного смещения галактик, измерении расстояний до сверхновых, исследованиях гравитационного линзирования, анизотропии микроволнового реликтового излучения. Космические обсерватории внесли в эту систему измерений важнейшие экспериментальные данные, которые позволяют с небывалой доселе точностью рассчитывать ход процессов формирования структур во Вселенной. Так, измерения анизотропии реликтового излучения спутником COBE (Cosmic Background Explorer, 1989) позволили получить флуктуации плотности вещества в тот момент, когда Вселенная стала нейтральной и прозрачной. Согласно представлению Нобелевского комитета — «результаты обсерватории COBE являются отправной точкой космологии в качестве точной науки». Рекордная чувствительность и разрешающая способность аппаратуры последующих миссий WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe, 2001) и Planck (2009) дали возможность получить космологические параметры с беспрецедентной

точностью, подтвердив развитие «точной космологии». Так, карта флуктуаций реликтового излучения и угловой спектр амплитуд флуктуаций позволили описать сценарий развития Вселенной, показать, что кривизна пространства в наблюдаемой ее части равна нулю (Вселенная плоская). Результаты этих космических миссий утвердили ключевые положения современной космологии относительно существования темной материи и инфляционной стадии расширения ранней Вселенной.

Данные WMAP вместе с измерениями Космического телескопа Хаббла (1990) позволили определить постоянную Хаббла с рекордной точностью не ниже 5 % и уточнить возраст Вселенной ($13,7 \pm 0,2$ млрд лет).

В области определения состава Вселенной — в частности, соотношения барионной материи, темной энергии и темной материи космические миссии должны внести свой вклад, по крайней мере, в двух направлениях. Поскольку измерениям доступна только барионная материя, то ее используют как тестовый объект для отслеживания структур темной материи в ранней Вселенной. В основе таких исследований — измерения светового потока от звезд, который смещен в красную область из-за расширения Вселенной. Но барионная материя в основном сосредоточена в межгалактическом газе, для картографирования которого нужны измерения в рентгеновском диапазоне. Исходя из этого, особую ценность будут иметь будущие миссии, обеспечивающие наблюдения в ИК и рентгеновском диапазонах. Именно по этой причине следующим после телескопа Хаббла в серии больших космических телескопов будет телескоп JWST (телескоп им. Дж. Уэбба), спроектированный для наблюдений преимущественно в ИК диапазоне.

Методы РСДБ, спектрометрические исследования в оптическом диапазоне (телескоп Хаббла), а также методы рентгеновской спектроскопии (в частности, американского телескопа RXTE, работавшего на орбите с 1995 по 2012 год) обусловили впечатляющий прорыв в исследованиях структур дальнего космоса, в частности активных ядер галактик и черных дыр. Эти объекты имеют принципиальное значение из-за их прямой связи с основами общей теории относительности и выяснением природы поведения материи в сильном гравитационном поле. Космические эксперименты в гамма-диапазоне (обсерватория Комптона, CGRO) позволили выявить наиболее высокоэнергетичные взрывы в галактиках (гамма-барстеры).

Благодаря результатам работы космических обсерваторий предшествующее десятилетие названо «золотым веком» космической астрономии. Вместе с тем, перспектива ближайших лет стала предметом многочисленных дискуссий и аналитических исследований. В 2012 году группа экспертов по поручению COSPAR подготовила обзор «Будущее космической астрономии. Глобальная дорожная карта на ближайшие десятилетия» [2]. Европейское космическое агентство несколько ранее выпустило стратегический план «Космическое видение. Космическая наука для Европы 2015—2025 годы» [7], а планы США обозначены в документах [3, 4]. В оценках экспертов отчетливо выражена обеспокоенность тем, что ближайшие годы могут стать «темным периодом» в космической астрономии из-за отсутствия больших телескопов на орбите [7]. Действительно, сроки активной работы действующих средств заканчиваются, а среди запланированных миссий за телескопом JWST (телескоп Дж. Уэбба, обозначенная дата запуска 2020 год) нет согласованных миссий подобного масштаба.

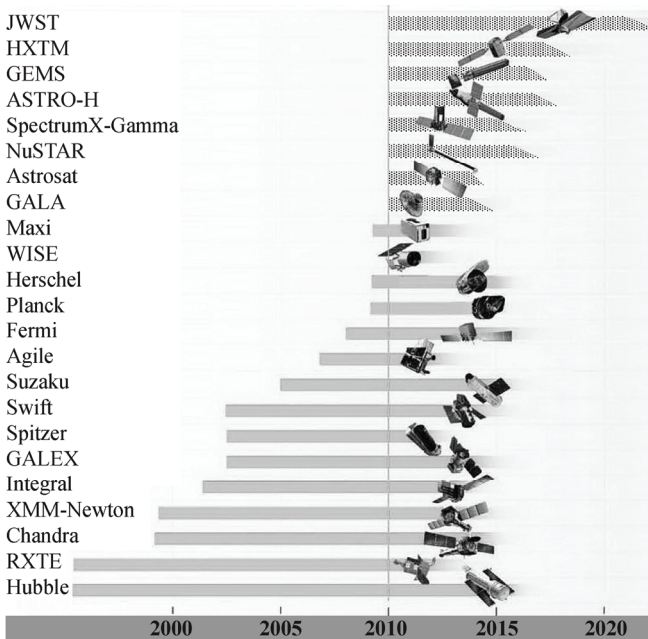


Рис. 2.2. Действующие астрофизические миссии с прогнозируемым временем жизни (■) и разрабатываемые миссии (▨) с запланированной датой запуска, обозначенной S/C позицией [2]

Авторы обзора [2] среди важнейших для астрофизики запланированных миссий вслед за JWST называют миссии ЕКА и НАСА для исследования темной материи и экзопланет Euclid и WEIRST (Wide Field Infrared Survey Telescope), миссию для изучения гравитационных волн LISA (Laser Interferometer Space Antenna), SPICA (Space Infrared Observatory for Cosmology and Astrophysics) — обсерваторию дальнего инфракрасного диапазона. Добавим сюда приоритетную миссию ЕКА Athena (Advanced Telescope for High Energy Astrophysics). Перечень важнейших космических телескопов, запланированных международным сообществом (из обзора [2]), приведен на рис. 2.2.

Среди рекомендаций международных экспертов важнейшими являются разработка различными агентствами согласованных программ и совместное использование наземных и космических инструментов, работающих в разных диапазонах. По согласованным программам уже работают крупные международные астрофизические наземные центры (например, LOFAR, ALMA, LSST), а идеальную схему совместной работы космических телескопов авторы [7] видят в работе Европейского центра по ядерным исследованиям (ЦЕРН).

К ситуации с большими телескопами следует добавить существенное замечание о разработанных перспективных планах ведущих космических агентств по созданию малых орбитальных инструментов. НАСА разработала долговременную программу так называемых миссий класса D, которые включают, в частности, инструменты для изучения нейтронных звезд и пульсаров [3]. ESA предусматривает серию миссий среднего класса (М-серию, запуски раз в 3—4 года, например, Plato, Planetary Transit and Oscillations of Stars) и малые аппараты (S класс, CHEOPS, Characterising Exoplanet Satellite) [2].

Отметим высокую значимость проблематики наук о космосе, которую европейская космическая программа характеризует как «отвечающую европейской идентичности и приоритет для общества, основанного на знании».

2.3. Околосолнечный космос, солнечно-земные связи, космическая погода

Для солнечно-земной физики космическая эра дала не только ряд открытий, но и создала новую глобальную наблюдательную базу и, главное, способствовала принципиальному повышению уровня понимания процессов в системе Солнце—Земля. Значение солнечно-земной проблематики, прямо связан-

ной с условиями функционирования живого на Земле, было осознано задолго до использования космических наблюдений. Сложилось также понимание чрезвычайной сложности разнородных прямых и опосредованных связей между гелио- и геофизическими процессами, Их можно свести к явлениям, вызванным переносом энергии, которая выделяется при нестационарных процессах на Солнце, и перераспределением уже накопленной энергии в магнитосфере, ионосфере и атмосфере Земли. При этом возникают, в частности, ритмические колебания геофизических параметров (11-летние, 27-дневные) либо скачкообразные, обусловленные триггерным механизмом (как внетропические циклоны при геомагнитных возмущениях). Поэтому данная тема включает несколько разных теоретических, наблюдательных и прикладных аспектов, в изучение которых космические средства внесли фундаментальный вклад [8].

В течение трех десятилетий была сформирована по существу новая концепция «космической погоды», в основу которой легли открытия в солнечно-земной физике, такие как прямые наблюдения солнечного ветра, межпланетного магнитного поля, выбросов коронального вещества. Благодаря космическим аппаратам возникли или получили интенсивное развитие новые области гелиофизики: солнечная гамма-астрономия, гелиосейсмология и др. В научный обиход вошли новые понятия — такие как корональная дыра, солнечная буря, геомагнитная буря, радиационная буря. Возникло также понятие «гелиосферы» как особой области в космическом пространстве, образуемой солнечным ветром при его взаимодействии с межзвездной средой.

Принципиально новые возможности космических средств можно свести к трем обстоятельствам. Во-первых, внеатмосферные методы позволили расширить диапазон частот электромагнитного излучения; солнечная астрономия стала всеволновой — от ядерного гамма-излучения (длина волны $\sim 0,1 \text{ \AA}$) и рентгеновских лучей ($\geq 1 \text{ \AA}$) до радиоволн километрового диапазона; стало возможным также изучение корпускулярного излучения. Все это позволило получать новую информацию о грануляционной структуре поверхности (фотосферы), процессах во внешних слоях — хромосфере и короне (вспышки, образование протуберанцев), а также солнечном ветре.

Во-вторых, космические аппараты сделали возможными объемные наблюдения Солнца. Следует пояснить, что даже с искусственных спутников Земли невозможно наблюдать Солнце «сверху»: плоскость земной орбиты почти совпадает с плоско-

стью солнечного экватора. Поэтому до 1990 г. (когда был запущена миссия *Ulysses*) наблюдать Солнце можно было лишь в плоскости эклиптики (точнее, в области малых гелиоширот $\pm 7,25^\circ$). Начиная с аппарата *Ulysses* (совместный проект ЕКА и НАСА), используют орбитальные гравитационные маневры для вывода спутника на полярную орбиту, что позволяет «увидеть» области Солнца, недоступные для наблюдений с Земли.

В-третьих, космические аппараты дали возможность для непосредственных измерений электрических полей и токов, широкого спектра плазменных колебаний, электромагнитного излучения и потоков частиц в околоземной плазме. Спутниковые измерения стали главным способом получения информации о свойствах магнитосферы. Открытые в ходе космической миссии «*Explorer-1*» радиационные пояса Ван-Аллена, а также концепция солнечного ветра сформировали современные представления о структуре магнитосферы и геокосмоса в целом.

Новые возможности совместного применения наземных и космических инструментов позволяют говорить о переходе к этапу мониторинга (используют также термин патрулирование) околоземной космической среды и возможности создания ее глобальных физических моделей. Сейчас в космосе одновременно работают порядка 20 космических аппаратов, которые проводят многоточечные измерения в разных участках геокосмоса [9].

Совместная миссия НАСА-ЕКА STEREO (Solar-Terrestrial Relations Observatory), представленная двумя идентичными аппаратами (первый запущен в 2006 г. на солнечную орбиту, второй — в 2012 г. на вытянутую эллиптическую орбиту вокруг Земли), обеспечивает мониторинг потоков солнечной радиации и заряженных частиц, а также состояния радиационных поясов Земли, в частности, позволяет получать трехмерную структуру корональных выбросов массы. С 1997 г. аппарат НАСА ACE (Advanced Composition Explorer) осуществляет мониторинг солнечного ветра в точке Лагранжа L1 системы Солнце — Земля. Аппарат НАСА-ЕКА SOHO (Solar and Heliospheric Observatory), запущенный в 1995 г. также в точку L1, до недавнего времени был основным источником изображений Солнца. На замену в 2010 г. на наклонную геосинхронную орбиту был запущен КА SDO. В феврале 2015 г. была запущена миссия Deep Space Climate Observatory (DSCOVR), основной задачей которой является предупреждение о корональных выбросах массы. Космические группировки CLUSTER (4 аппарата), DOUBLE STAR и THEMIS (5 аппаратов), запущенные, соответственно, в 2000, 2004 и 2007 гг., предназначены для исследования волновых явлений в

ближнем космосе. Существует ряд специализированных космических аппаратов, отдельные сенсоры которых ориентированы на изучение солнечно-земной физики: GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite), (POES) Polar-orbiting Operational Environmental Satellite, Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) и Meteosat. Большую роль при изучении мировой грозовой активности сыграли аппараты Optical Transient Detector (OTD) и Lightning Imaging Sensor (LIS), выполнявшие регистрацию молниевых вспышек на поверхности Земли с 1995 по 2001 гг. и с 1997 г. по настоящее время, соответственно. Космические измерения, которые направлены на мониторинг вариаций солнечной активности и связанных с ними изменений геомагнитного поля, существенным образом дополняются различными наземными системами, среди которых сеть станций вертикального зондирования ионосферы, радары некогерентного рассеяния, мировая магнитометрическая служба INTERMAGNET, радарная система SuperDarn.

Новые инструментальные возможности и уровень понимания проблем солнечно-земной физики привели в начале нашего века к формированию самостоятельного прикладного направления — космической погоды. Вместе с астероидной опасностью и проблемой космического мусора оно входит в проблематику безопасности в программах космических агентств — Space Situational Awareness (в ЕС — это часть космической политики, оформленной в виде специализированной программы в 2009 году [10]).

Под космической погодой понимают совокупность динамических явлений, происходящих в верхних слоях земной атмосферы, в ионосфере, магнитосфере и солнечном ветре под действием процессов на Солнце. Специфика таких явлений заключается в том, что они обусловлены принципиально неравновесными процессами в объектах, которые находятся в состоянии динамического равновесия. Формирование этого специфического направления связано с осознанием практического значения солнечно-земных процессов для обеспечения безопасности в современных условиях и новыми масштабами применения технологических систем. Жизненно важные услуги радиосвязи, телевидения, глобальной навигации, мониторинга атмосферы, поверхности суши и мирового океана, прогнозирования катастрофических явлений обеспечиваются многочисленными наземно-космическими комплексами. Их устойчивое функционирование требует не только понимания физических процессов в геокосмосе, но и надежного прогнозирования параметров космической погоды и организации контрмер.

Как и обычная погода, космической погода проявляется в разнообразных эффектах и может иметь как незначительные, так и серьезные последствия. В большинстве случаев воздействие на технологические системы не имеет катастрофических последствий; по данным NOAA [11] только в 5 % периода цикла солнечной активности наблюдается жесткая или чрезвычайная геомагнитная обстановка. Именно к этому периоду относятся известные факты выхода из строя энергетических систем или потеря космических аппаратов. В то же время перманентное воздействие факторов космической погоды на наземные и космические системы наносит вполне ощутимый экономический ущерб. Таким образом, практическая проблема оценки рисков от воздействий космической погоды разных масштабов определила внимание различных пользователей — от государственных структур до отдельных граждан — к этой проблеме. Отвечая этим запросам, научное сообщество (COSPAR совместно с международной координационной группой International Living with the Star, ILWS) создали группу экспертов для выработки международной программы действий, которая определила приоритеты в области исследований, разработок и организации мониторинга космической погоды на ближайшую и отдаленную перспективу.

Обзор [4], подготовленный группой ILWS, включает дорожную карту согласованных мер в трех сферах: наблюдений и моделирования, создания исследовательской среды, а также системы взаимодействия космических агентств и пользователей. Идея авторов [4] состоит в комплексировании научного и инженерного подходов, на основе которого возможен надежный прогноз и выработка требований к проектированию технологических систем (электросетей, спутниковых группировок, систем навигации и позиционирования, радиосвязи). Конкретные рекомендации касаются использования действующих инструментов, разработки новых наземных и космических средств, а также организации мониторинга. В настоящее время мы становимся свидетелями быстрого перехода от отдельных исследований процессов в околоземном космосе к созданию целостной системы мониторинга на основе высокоточных скоординированных измерений.

Изложенное относится к состоянию околоземной геокосмической среды и динамики ряда глобальных процессов под влиянием солнечной активности (т. е. о воздействии сверху). Новым направлением обещает стать изучение откликов геокосмоса

(главным образом ионосферы) на воздействия снизу. Огромный массив наблюдений свидетельствует о том, что в состоянии ионосферы локально отображаются приземные источники энерговыделения: погодные явления (грозы, циклоны, атмосферные фронты, тропосферная конвекция), техногенные факторы (запуски ракет-носителей, ядерные и промышленные взрывы, электромагнитные излучения электросетей и навигационных радиопередатчиков), тектонические процессы (извержения вулканов, цунами, землетрясения и процессы их подготовки) (см. [12—19] и библиографию этих работ). Весьма актуальным является выявление ионосферных предвестников землетрясений — феномена малоисследованного, но вызывающего гигантский интерес в контексте проблемы краткосрочного прогноза землетрясений. Другим примером служат излучения линий электропередач, создающих в ионосфере специфический электромагнитный след. Диагностика этих излучений с низкоорбитальных спутников открывает перспективу удаленного контроля электропотребления в глобальном или региональном масштабах. При этом для решения этой проблемы требуется организация спутникового мониторинга для расширения статистики наблюдений и построения адекватной физической картины воздействий на геокосмос «снизу».

2.4. Об исследованиях в условиях микрогравитации: материаловедение, науки о жизни, фундаментальная физика, технологические эксперименты

Особенность этого направления состоит в том, что предметом исследования являются не космические объекты, а известные из земной деятельности процессы, протекающие в уникальных условиях космоса (невесомость, глубокий вакуум, космическое излучение, перепады температуры). Среди приоритетных областей исследований — материаловедение, науки о жизни, широкий круг физико-химических процессов, биотехнологии, а также технологические эксперименты (табл. 2.1) [20—22]. Предметную область (точнее значительную часть из упомянутой тематики) принято называть науками о микрогравитации (microgravity sciences). Далее будет использоваться этот термин, хотя очевидная его некорректность заставляет многих авторов делать терминологические оговорки (см., например, [21]).

Таблица 2.1. Приоритетные направления исследований в условиях микрогравитации

Науки о жизни	Материаловедение, физика жидкостей, процессы горения	Здоровье человека	Фундаментальная физика
<ul style="list-style-type: none"> • Биология растений. • Клеточная и молекулярная биология (гравичувствительность клетки). • Астробиология. • Биотехнологии 	<ul style="list-style-type: none"> • Затвердевание. • Пылевая плазма. • Двухфазный поток, фазовое разделение. • Кипение и конденсация. • Капиллярные и межфазные явления 	<ul style="list-style-type: none"> • Иммунология. • Потеря костной массы. • Сердечно-сосудистая система. • Влияние космического излучения. • Меры противодействия 	<ul style="list-style-type: none"> • Атомные часы. • Физика низких температур. • Методы квантовых измерений. • Методы проверки фундаментальных постоянных

Действительно, английскому «microgravity» соответствует термин «микротяжесть», поскольку в условиях орбитального полета гравитационная сила достаточно велика, а малой является сила тяжести (10^{-3} — $10^{-5} g_0$ вследствие состояния, близкого к свободному падению). Заметим, что речь идет о физических, биологических и прочих процессах в особых условиях, а не об отдельной отрасли наук. Поэтому специалисты в своих сферах применяют такие термины как «life sciences related to space» (науки о жизни в космических условиях) и «space materials sciences» (космическое материаловедение). В последнем случае речь идет о процессах получения материалов в космосе, а не о деградации свойств материалов под действием факторов космоса.

Эксперименты в условиях орбитального полета с момента запуска Международной космической станции (МКС, 2004 год) стали безусловным приоритетом космических программ — самым дорогим и масштабным международным проектом. Эти колоссальные международные усилия основаны на результатах предыдущих этапов (советские орбитальные станции «Салют» и «Мир», американский «Спейслэб», беспилотные КА серии «Бион» и «Фотон», а также некоторые другие).

При этом за прошедшие годы идеология этих исследований претерпела, по меньшей мере, два существенных поворотных пункта. Исторически первой целью исследовательских и прикладных программ на орбитальных комплексах была провозглашена индустриализация космоса (и в советской, и в американской программах) [22]. Однако десятилетие экспериментальной работы показало, что надежды получить уникальные материалы, разработать принципиально новые технологии не увенчались ус-

пехом. Причиной относительных неудач явилось непонимание механизмов протекания многих физико-химических и биологических процессов, которые лежат в основе разрабатываемых технологий. Поэтому основной целью экспериментов на МКС стало исследование этих процессов, а сама орбитальная станция получила с США статус исследовательской лаборатории.

Ориентация современных космических программ на межпланетные миссии — это еще один поворот в идеологии орбитальных исследований. НАСА в значительной степени утратило интерес к первоначально разработанной программе, сосредоточившись на тех направлениях исследований, которые обеспечат длительные пилотируемые миссии. Поэтому в сфере микрогравитации приоритет был отдан медико-биологическим экспериментам. Отметим, что программы других участников поначалу не претерпели изменений, однако с 2017 года финансирование этих программ в ЕКА сократилось почти вдвое. В то же время известно о планах создания следующего поколения орбитальных станций, наиболее реалистичными из которых представляются китайские.

В настоящее время исследования в области наук о микрогравитации используется целая система экспериментального оборудования помимо орбитальных средств: специализированные самолеты, зондирующие ракеты, башни сбрасывания, имитационное оборудование; кроме того, новый импульс приобрело компьютерное моделирование сложных процессов в космических условиях.

Одним из приоритетных направлений современных орбитальных космических исследований являются физико-химические процессы в жидкостях, газах смесях, а также процессы кристаллизации. Перспективы материаловедческих экспериментов определяются в основном следующими целями:

- Получить уникальные материалы и технологии их создания, недостижимые в земных условиях.
- Определить фундаментальные параметры процессов в условиях отсутствия гравитационной конвекции (например, коэффициентов диффузии).
- Выяснить механизмы физико-химических процессов, которые являются основой земных технологий (металлургия, выращивание кристаллов, получение биопрепаратов).
- Создать научные основы получения материалов в интересах последующей деятельности по освоению космического пространства.

Неудачи многих космических экспериментов в области фундаментальной физики и материаловедения связаны именно с завышенными ожиданиями результатов опытов в уникальных условиях невесомости. В то же время недостаточное понимание проблемы математического и натурного моделирования приводило к отрицательному конечному результату. Наиболее известный пример — исследование процессов переноса в жидкостях в ожидании отсутствия конвективного перемешивания. Оказалось, что термокапиллярная и концентрационно-капиллярная конвекция на поверхностях раздела фаз (эффект Марангони) могут приводить к сложной конфигурации потоков в жидкости и результирующему эффекту, более сильному, чем гравитационная конвекция [22—25].

Если кратко подытожить ожидания исследователей, связанные с условиями невесомости, то получим направления работ, приведенные в табл. 2.2.

Таблица 2.2. Перспективы получения материалов в космических условиях

Уникальные условия	Перспектива технологического прорыва
Бесконтактные условия расплавления	Новые фазовые и структурные состояния материалов
Отсутствие конвекции в жидкостях, газах, смесях	Получение кристаллов с уникальными свойствами (чистота, распределение компонентов)
Отсутствие смешивания компонентов с различной плотностью	Новые композиционные материалы
Превалирование поверхностных сил над объемными	Уникальное формообразование и технологические применения (капиллярные насосы...)

Примечательно, что некоторые из них не оправдали возлагавшихся надежд: получение уникальных структурных состояний при затвердевании высокопереохлажденного расплава оказалось более продуктивным на Земле. (Отметим, что в разных лабораториях продолжают исследования с использованием левитаторов в надежде добиться уникальных результатов).

Среди направлений физических и материаловедческих работ, которые будут осуществляться в ближайшее десятилетие, значительная роль принадлежит поискам новых путей совершенствования процессов кристаллизации в космосе, структурообразования кристаллических материалов, особенностей тепломассопереноса в объеме жидкостей, роли поверхностных процессов, а также поиск эффективных способов реализации внешних воздействий (вибрация, электромагнитное перемешивание) на процесс полу-

чения материала. Эти направления принято считать одними из наиболее перспективных, по крайней мере, исходя из запланированного полетного времени на МКС. Приведем несколько примеров.

Исследовательская программа MICAST (формирование микроструктуры при литье промышленных сплавов в условиях конвекции и перемешивания магнитным полем) предназначена для выяснения роли гравитационной конвекции и электромагнитного перемешивания на структуру и свойства промышленных алюминиевых сплавов. Выполнялась сначала на зондирующих ракетах, а затем на оборудовании MSL на МКС.

Целью проекта MONOPHAS было создание основ получения монотектических сплавов (т. е. с областью несмешиваемости), где компоненты сильно отличаются по плотности. Этот проект использовал AlZnBi сплавы для последующего использования в производстве подшипников.

Натурное моделирование процессов направленной кристаллизации на прозрачных модельных веществах реализуется на американско-французской аппаратуре DECLIC, которая позволяет проводить прямое наблюдение динамики процесса затвердевания.

Десятки других экспериментов посвящены особенностям движения жидкостей, фазового разделения, проблемам воздействия на потоки жидкости, термокапиллярной конвекции, моделированию геофизических процессов. Сводка результатов работ приведена в обзорах [20, 22, 24—26], а также в отчетах космических агентств.

В зависимости от результатов этих исследований станут понятными перспективы поисков направлений дальнейших материаловедческих работ в космосе. Среди них, в частности, — обработка и получение практически важных конструкционных материалов для космического строительства обитаемых модулей, функциональных материалов для поддержания жизнеобеспечения и т. д. Иными словами, ближайшие 10 лет (срок активного существования МКС, а также время осуществления беспилотных миссий) должны дать ответ на вопрос, действительно ли соображения о перспективности методов кристаллизации станут экспериментально подтвержденными основами новых космических технологий.

Приоритетные направления развития наук о жизни в космосе и формы сотрудничества зафиксированы на уровне международной рабочей Группы (ISLSWG) (последнее обновление Стратегического плана — 2010 г.) [27]. В центре внимания этого плана: общепланетарная проблема — познание роли гравитации в функционировании биосферы, ее экспериментальная основа — выяснение

механизмов влияния микрогравитации и других факторов космического полета на клеточном и молекулярном уровнях организации живых систем, а также на генетическую стабильность, рост, развитие, репродукцию, продолжительность жизни и старение, поведение и ориентацию растительных и животных организмов в первом и последующих поколениях. Расширяются исследования процессов, связанных с происхождением, эволюцией и распространением жизни во Вселенной. К приоритетным направлениям относят также поиск способов выявления и прогноза биологических изменений на Земле в региональных и глобальном масштабах и оценки последствий этих изменений для функционирования биосферы.

В связи со значительным расширением исследований Марса, будущими полетами человека на Луну и Марс и его длительным пребыванием за пределами Земли в условиях различной гравитационной нагрузки будут продолжены исследования функционирования физиологических систем человека — сердечно-сосудистой, мышечной, скелетной, нервной и эндокринной — и их регуляции в условиях космического полета и наземных экспериментах, моделирующих условия микро- и гипергравитации. Целью этой программы работ является познание механизмов, лежащих в основе длительной адаптации человека к этим условиям, выявление диапазона риска для жизни и работы в космосе и разработка способов его снижения [29].

Среди многочисленных программ в области здоровья человека выделим проблематику потери костной массы в связи с пребыванием в условиях микрогравитации, а также с дефицитом опорно-двигательных нагрузок (гипокинезия). Она имеет огромное значение для земной медицины, а остеопороз считается одной из «болезней цивилизации» (по данным ВОЗ, количество заболевших в мире к 2025 году оценивается в 40 млн человек, а расходы на лечение и комплекс социальных последствий составит 120 млрд евро [29]). Это один из ярких примеров «земного» применения космических исследований, как и более общая возможность моделирования процессов старения в условиях космического полета.

Приведем выборку наиболее значимых исследований европейских и американских исследователей по программам наук о жизни.

ЕКА организует долгосрочную программу в области наук о жизни и фундаментальной физики ELIPS (European Program for Life and Physical Sciences), которая включает все перечисленные выше экспериментальные средства, но в основном ориентирована на МКС

[29]. Так, в области **биологии растений в условиях измененной гравитации** с 2006 по 2016 годы проведены несколько циклов экспериментов (MULTIGEN, Genara-A, Seeding Growth-1), продемонстрировавших влияние различного уровня силы тяжести и стимулирующего излучения на развитие семян, интенсивность роста корней и побегов. **В области клеточной и молекулярной биологии** проводились длительные эксперименты по изучению эндотелиальных клеток (ответственных за кровоснабжение организма); в экспериментах НМЕС и UVEC использовались разные типы эндотелиальных клеток для выработки рекомендаций по лечению сосудистых заболеваний и мерам противодействия в космосе и на земле. **В области астробиологии** организованы серии длительных (до 22 месяцев) экспериментов по экспонированию различных объектов (спор, бактерий, органических соединений, микроорганизмов) на специализированной платформе Expose-R. Некоторые из результатов (в частности, по программе BIOMEX) по выживаемости объектов оказались неожиданными, например, после сравнения данных наземного моделирования и космических экспериментов. Эти результаты использованы как основание для отбора объектов для миссии EXOMars.

В США МКС имеет статус Национальной лаборатории США, в рамках которой приоритетными выделены следующие программы [30]:

- Исследования кристаллизации белков несколькими фармацевтическими компаниями в интересах улучшения свойств лекарственных препаратов.
- Исследования грызунов фармацевтическими компаниями и академическими институтами для лучшего понимания болезней костей и мышц и тестирования потенциальных лекарств.
- Эксперименты с клеточными культурами, организованные Национальным институтом здравоохранения для изучения остеопороза и иммунодефицита.
- Эксперименты со стволовыми клетками ведущими академическими и некоммерческими учреждениями для улучшения лечения сердечно-сосудистых заболеваний.
- Биотехнологические эксперименты, использующие уникальные эффекты космического полета для исследования динамики жидкости, в интересах развития прецизионной медицины за счет улучшения диагностики и доставки лекарств.
- Исследование модельного организма, спонсируемое для изучения возможности повторного использования существующих лекарств для других целей.
- Исследования основополагающих принципов биологии растений.

Исследования в области **фундаментальной физики** включают в себя несколько различных направлений, которые определяются принципиальной ролью подавления проявлений гравитационного взаимодействия [20, 29]. Эти уникальные условия позволяют предложить новые проверки основополагающих принципов общей и специальной теории относительности и квантовой теории, физики плазмы, изучать критические явления в гетерогенных системах, явления переноса в жидкостях, а также разработать принципиально новую метрологическую технику.

Многолетние усилия в области **физики пылевой плазмы** предприняла российско-немецкая команда исследователей в рамках проектов «Плазменный кристалл» (РК-3, РК-4). Результаты экспериментов и моделирования дают уникальную информацию о динамике атомных процессов в жидкостях и газах и некоторых приложений в области полупроводниковой техники. Структура, которая получила название кулоновского или плазменного кристалла, подобна пространственным структурам в жидкости или твердом теле. Уникальные свойства плазменных кристаллов (простота получения, наблюдения и контроля за параметрами, а также малые времена релаксации к равновесию и отклика на внешние возмущения) делают их перспективным объектом исследования как свойств сильно неидеальной плазмы, так и фундаментальных свойств кристаллов. Результаты планируется использовать для моделирования реальных атомарных или молекулярных кристаллов и изучения физических процессов с их участием. В орбитальных условиях появляется возможность **охлаждения вещества до предельно малых значений** вследствие уменьшения времени осаждения отдельных атомов в условиях, близких к невесомости. На орбите эффект от охлаждения частиц продлится около 10 с, в то время как на Земле он продолжается доли секунды. На Международную космическую станцию доставлена Cold Atom Lab — Лаборатория холодных атомов, которая позволит провести уникальный эксперимент по заморозке частиц вещества до температуры, близкой к абсолютному нулю. После охлаждения совместное воздействие лазеров и электромагнитов замедлят атомы до практически неподвижного состояния. Это даст возможность наблюдать за веществом в особых условиях для изучения квантовых эффектов.

Метрологический раздел физических экспериментов в космосе представляют **атомные часы — самые точные измерители времени**, основанные на переходах между энергетическими уровнями атомов. Стандартные атомные часы, работающие с горячи-

ми атомами, дают погрешность измерения частоты перехода атома примерно 10^{-14} . Однако погрешность часов с холодными атомами (cold atomic clock, SAC) может составлять до 10^{-18} . Атомные часы космического применения первого поколения достигли точности измерений $> 10^{-15}$ (PARCS (Primary Atomic Reference Clock in Space, RACE — Rubidium Atomic Clock Experiment). Следующий проект новых космических атомных часов DSAC (Deep Space Atomic Clock) на МКС позволит улучшить этот показатель до 10^{-17} . Этот часы базируются на технике лазерного охлаждения: атомы, захваченные в магнито-оптической ловушке, замедляются и охлаждаются лазерами до примерно 1 мк. На основе таких часов готовится комплекс экспериментов по проверке базовых физических законов.

Условия микрогравитации позволяют существенно уменьшить уровень гравитационной конвекции в жидкостях и смесях и получить фундаментальные данные в области **динамики жидкостей**. В частности, обширный комплекс экспериментов в области диффузионных процессов и вибрационных воздействий реализовало Европейское космическое агентство (IVIDIL, DSC, DSMX-1,2); получены данные о коэффициентах диффузии, термодиффузии (коэффициенты *Sore*), а также о роли низкочастотной вибрации в процессах перемешивания. В отсутствии гравитационной конвекции удалось изучить особенности вибрационной конвекции как способа управления движением жидкостей в космических условиях.

2.5. Изучение и освоение космического пространства: автоматические и пилотируемые миссии

Целый ряд естественных наук, как и научная картина мира в целом, претерпели коренные изменения благодаря космическим исследованиям. Длинное название данного параграфа (на английском — Space Exploration) относится к особой сфере, которая не сводится к какому-то отдельному научному или технологическому направлению; в то же время она и определяет лицо современной космонавтики. Предметная область обозначается тремя вопросами, которые содержатся во всех известных программах и аналитических документах, посвященных Space Exploration: «откуда мы?», «что с нами произойдет в будущем?», «одни ли мы во Вселенной?». На эти вопросы отвечают и те науки, о которых кратко говорилось выше, однако Space Exploration — это особый род деятельности, в котором исследование

Таблица 2.3. Научные основы архитектуры исследования

Фундаментальная проблема	Научная цель	Задание	Положение наблюдения
Откуда мы произошли?	Определить, как образовалась и эволюционировала Вселенная с галактиками, звездами, планетами	Исследовать все виды материи от начального момента.	• с помощью телескопов в точке либрации Солнце—Земля L2 (SEL2);
		Выяснять процесс формирования планетной системы в Галактике.	• с помощью телескопов в SEL2;
		Изучать разнообразие и состав малых тел в Солнечной системе	• на околоземных объектах;
	Исследовать происхождение и эволюцию планеты Земля и ее биосферы	Найти доказательства, ведущие к пониманию происхождения системы Земля—Луна.	• в реголите и скалах Луны;
		Находить образцы из самых ранних эпизодов в истории Земли.	• в земных метеоритах, найденных на Луне;
		Получить факты, касающиеся истории Солнца и его влияния на Землю	• в реголите и скалах Луны;
Что будет с нами в будущем?	Определить природу космической среды и потенциальных космических опасностей для Земли	Изучить историю воздействия астероидов и комет на Землю.	• в Лунных кратерах;
		Определить объемные свойства и внутреннюю структуру околоземных объектов	• на околоземных объектах;
	Определить потенциал для установления постоянного присутствия человека в космосе	Оценить полезность производства ресурсов на Луне, включая лунный лед.	на Луне;
		Определить полезность околоземных объектов в качестве потенциальных ресурсов для получения материалов в космосе.	• на околоземных объектах;
		Определить осуществимость производства ресурсов in situ на Марсе	• на Марсе;
Одиноки ли мы во Вселенной?	Определить, была ли когда-либо внеземная жизнь в Солнечной системе	Определить геологическую и климатологическую историю Марса.	• на Марсе;
		Определить историю воды и ее нынешнее распределение и форму на Марсе.	• на Марсе;
		Поиск прошлой и настоящей жизни	• на Марсе и в Европе;
	Определить, есть ли подобные Земле планеты, свидетельствующие о жизни вокруг других звезд	Поиск земноподобных планет вокруг других звезд.	• с помощью телескопов в SEL2;
		Поиск доказательства жизни в наблюдаемых свойствах планет вне Солнечной системы	• с помощью телескопов в SEL2

неотделимо от использования, а методом достижения является космическая миссия (пилотируемая либо автоматическая) для реализации измерений *in situ* (на месте). О том, как соотносятся мировоззренческие, научные и прикладные аспекты, дает представление табл. 2.3 из работы группы аналитиков Международной академии астронавтики, МАА [31].

Хорошо известно, что космические миссии к удаленным космическим объектам — это наиболее затратные, рискованные и сложные проекты. Практическая отдача от них — далекое будущее. Между тем, история современных космических исследований показывает, что именно экспедиции к удаленным небесным телам (в первую очередь Марсу и Луне) определены приоритетными в долгосрочных планах космических государств, а с недавнего времени и частного бизнеса. Характерным примером является изменение политики США за последние 15 лет. Инициатива президента Дж. Буша в 2004 году (*Exploration*) предусматривала продвижение от околоземной орбиты к Луне как базе для дальнейших полетов и далее к Марсу. Б. Обама в 2010 году провозгласил фундаментальный поворот («мы не стремимся превзойти соперника, борясь за достижение одной и той же цели, например, высадиться на Луне») и одобрил менее амбициозную программу, которая предусматривала путь в дальний космос через освоение астероидов. Акт, подписанный Д. Трампом (*NASA Authorization Act of 2017*), определяет пилотируемый полет на Марс в качестве ключевой цели для НАСА и предусматривает в качестве первого этапа создание лунной орбитальной платформы *Deep Space Gateway* (*DSG*) (Окололунная Орбитальная Платформа) [3].

Может показаться, что политический императив определяет тот или иной поворот в космической политике США и других космических держав; действительно, стремление к геополитическому и технологическому доминированию всегда влияло на принятие решений. Однако в контексте нашего рассмотрения отметим существенную роль культурного и научного императивов, определяющих коридор возможностей для политиков. Освоение дальнего космоса с начала нашего века стало существенно международной проблемой, когда группы экспертов разных стран начали непрерывный процесс выработки согласованных научно и экономически обоснованных решений относительно стратегии *Space Exploration*. Воплощением общего подхода стала Международная космическая станция, а дальнейшая стратегия

формулировалась в согласованных Стратегических дорожных картах [3]. Возьмем на себя смелость отметить, что в упомянутых правительственных инициативах нет ничего такого, чего бы не выписали эксперты в документах международных рабочих групп. При этом технические решения, сроки и последовательность действий варьируются с учетом политики ведущих игроков. О базовых подходах стоит отметить следующее.

Политика космических агентств с начала 2000 годов согласовывается в рамках нескольких экспертных групп, имеющих высокий статус: Международной группы по координации исследований (ISECG), Международной группы по исследованию Луны (ILEWG), Международной группы по исследованию Марса (IMEWG) и некоторых других.

С 2006 года на специальных заседаниях представителей космических агентств 14 стран (Украина входит в их число) начата разработка глобальной стратегии исследований и дорожных карт Space Exploration, которые периодически обновляются. На рис. 2.3 проиллюстрирована общая идея продвижения от земной орбиты к Марсу из первого согласованного документа «Глобальная стратегия исследований — основы координационного процесса» [31] 2007 года и разработанной в 2018 году дорожной карты исследований [3]. За это время несколько изменился план освоения Луны (предполагается создание орбитальной лунной платформы) и конфигурация лунной базы. Стоит пояснить, что упомянутые документы — это не согласованная программа, обязательная для всех; скорее это рекомендательные основы, демонстрирующие преимущества скоординированных усилий (хотя в рекомендациях учитываются исключительно национальные проекты). Международное космическое сообщество демонстрирует инновационный подход к выполнению общечеловеческой задачи достижения планет и создания поселений, закладывая основы совместной работы землян. Эта амбициозная задача решается через цепочку практических задач, среди которых: разработка стандартов, методов обмена данными, определение объема совместных услуг для создания совместных инфраструктур, механизмы размещения полезной нагрузки, способы координации планирования космическими агентствами, экспертиза требований к правовым документам. Последняя из дорожных карт [3] уточняет перечень и последовательность автоматизированных и пилотируемых миссий, приводит список критических технологий и подготовительных работ, демонстрируя прогресс в координационной работе.



Рис. 2.3. Дорожная карта глобальных космических исследований

Эта работа не очень заметна широкой публике и встречает серьезные трудности, поскольку участники не просто имеют разные программы, но в ряде случаев жестко конкурируют. Поэтому согласованная дорожная карта — пример возможностей сотрудничества между конкурентами в космосе и модель будущего взаимодействия между нациями в глобальных проектах.

Кратко остановимся на проблемах и разногласиях научного и идеологического порядка, которые не отражаются в официальных текстах документов и служат предметом постоянных дискуссий. Во-первых, речь идет об относительной значимости лунного и марсианского этапов. Многие ученые считают марсианские миссии (а также миссии к астероидам) существенно более ценными с научной точки зрения (эта точка зрения зафиксирована в европейских документах [2, 7, 31] и лунную базу рассматривают как обеспечивающий технологический этап для дальнейших полетов. Наиболее острые дискуссии вызывают перспективы использования лунных ресурсов, в частности гелия-3, что влияет на подходы к созданию лунной базы. Эта конкретная тема иллюстрирует более общую идеологическую проблему о приоритетах межпланетных исследований, которая очень ярко проявилась во внутрироссийской дискуссии (а именно, что важнее — планетология или физика космоса).

Во-вторых, тема относительной важности пилотируемых и автоматических миссий. Очень многие специалисты выступают

против приоритетности пилотируемых миссий в ближайшие годы из-за рисков и нерешенной проблемы защиты человека от ионизирующего излучения. Еще один фундаментальный вопрос связан с эффективностью работы человека в космических лабораториях. Опыт работы на околоземной орбите показал, что значительную часть времени экипаж занимается проблемами жизнеобеспечения и обслуживания техники, а не целевыми задачами исследований [32].

В-третьих, проблемы, связанные с разработкой комплекса технологий для обеспечения межпланетных миссий, особенно средств доставки, а также примерной стоимостью воплощения проектов. Впечатляющий рыбок Э. Маска, который продемонстрировал многократное использование ступеней РН, обещает снижение расходов на запуски на 10—15 %. Однако скептики не считают этого достаточным для снижения общих расходов до приемлемого уровня. Так, расходы НАСА на МКС, менее масштабный проект, составили \$150 млрд, а нынешний бюджет (19,9 млрд в 2019 году) вызывает скепсис в смысле перспектив обеспечения проектов лунной и марсианской программ. Поэтому дискуссия о том, стоит ли тратить миллиарды долларов на межпланетные миссии при нерешенных проблемах бедности, экологического мониторинга, безопасности и исследований геосистем, обеспечивающих жизнь человека, будет продолжаться.

Анализ различных международных и национальных программных документов убеждает в том, что мировое сообщество последовательно и настойчиво воплощает идею освоения дальнего космоса, несмотря на жесткие дискуссии и нерешенные проблемы. Подход к будущим миссиям можно определить вслед за авторами обзора [3] как пошаговое воплощение общей идеи (stepping stone approach). Архитектуру будущей космической инфраструктуры описывают авторы фундаментальных обзоров [7, 33, 34], при этом существует великое множество вариантов участия каждой нации в этом международном плане.

*Когда на нас надвигается новая технология,
тот, кто не стал частью парового катка,
становится частью мостовой.*

С. Бранд

3.1. Введение

Возрастающее применение космических технологий и сервисов в интересах огромного количества пользователей во многом определяет ответ на вопрос «Why Space?». В космических программах большинства государств развитие технологий и их использование в интересах потребителей отнесены к приоритетам, а земные применения не рассматриваются как побочный продукт, оправдывающий основную космическую деятельность [1]. Само определение космической деятельности несколько лет назад было скорректировано и подразумевает теперь не только создание и применение космических средств, но и смежную деятельность, которая использует информацию, сервисы и технологии космического происхождения. Это отражает реальное состояние тех сфер «земной» деятельности, которые сегодня немыслимы без космической составляющей (прогнозы погоды, навигация, экологический мониторинг, управление транспортом, энергетика, точное земледелие).

Сегодня новые приборы, материалы и сервисы на основе использования космических технологий стали неотъемлемой частью повседневной жизни граждан: от автомобильных навигационных систем и спутникового телевидения до мобильного интернета, тефлоновых сковородок и штрих-кода на товарах в супермаркете. Значительная часть космических программ направлена непосредственно на удовлетворение земных нужд. Создание новых систем связи, навигации и мониторинга рассматривается, в частности, в европейских программах как инструменты повышения качества жизни, личных свобод и безопасности граждан. Такая политика ста-

ла возможной на современном этапе как результат развития практической космонавтики и перехода от демонстрационного этапа использования космической техники к режиму регулярной эксплуатации орбитальной и наземной инфраструктуры.

Удовлетворению новых потребностей способствует перетекание космических (и военных) технологий в гражданские секторы (spin-in) и в обратном направлении (spin off). Эти процессы определяют возрастающую роль космической экономики, которая развивается быстрыми темпами и все больше влияет на развитие других отраслей. Возникновение новых рынков — одно из наиболее заметных следствий распространения космических технологий. Так, за последние 10 лет рынки геоинформатики, спутниковой навигации и интернета увеличились более чем в два раза. При этом экономический центр тяжести смещается от создания непосредственно космических продуктов (создание космической орбитальной и наземной инфраструктуры, обеспечение спутниковой связи, продажи «сырых» космических снимков) в сторону производных рынков. Некоторые экономические следствия внедрения инноваций и становление «новой экономики» рассмотрены в главе 4.

В данной главе основной акцент сделан на применение технологий, которые решительным образом изменяют традиционные сферы человеческой деятельности, расширяют возможности решения земных проблем. За короткий отрезок времени спутниковые наблюдения земли и океанов, космические навигационные и коммуникационные системы предоставили человечеству принципиально новые возможности. Однако необходимо осознавать, что сегодняшние технологические достижения используют очень небольшую часть ресурсов, предоставляемых космическим окружением. Различные прогнозы указывают на разные сроки того, когда перспективные сферы (энергетика, полезные ископаемые, создание колоний и космических производств) станут объектами технологического освоения. В то же время уже сейчас в документах космической политики развитых стран освоение космоса рассматривается как необходимое условие инновационного развития экономики, а космические технологии — как инструмент решения глобальных и национальных проблем.

3.2. Спутниковые наблюдения земли и океанов

Как многие другие приложения, спутниковые наблюдения земной поверхности и околоземного пространства развились из военных программ. Первый спутник дистанционного

зондирования земных ресурсов (ERTS), запущенный в 1972 году и изначально предназначавшийся для военных целей, положил начало серии Landsat, которая стала вехой в наблюдениях за Землей. В Европе регулярные наблюдения Земли из космоса начались с запуска аппарата Метеосат в 1977 году и спутников дистанционного зондирования ERS-1 и ERS-2, а затем Envisat. Спутники (а также авиационные средства) применяют технологию дистанционного зондирования, которая основана на применении сенсоров, анализирующих электромагнитное излучение без физического контакта с объектами изучения. В принципе эта технология аналогична той, которая используется для изучения других планет, только объектом изучения является земная поверхность. Спутниковые данные могут служить основой для дальнейшего анализа, или интегрируются в математические модели, описывающие различные земные процессы.

Растущее применение дистанционных данных обусловлено несколькими обстоятельствами. Во-первых, это их объективный и независимый характер. Во-вторых, возможность постоянной записи информации позволяет представлять совокупность отдельных измерений и информационных продуктов на их основе в виде цифровых спутниковых карт. Трехмерный набор данных дает непрерывное пространственное отображение области наблюдений, которое интегрируется в модели или географические информационные системы совместно с другими типами данных. В-третьих, возможность регулярно повторяющихся измерений одних и тех же участков позволяет выявлять динамику широкого круга изменений, вызванных природными процессами или деятельностью человека. И, наконец, быстрый доступ к данным спутниковых наблюдений способствует появлению новых областей применения.

Использование спутниковой информации, получаемой с помощью современных технологий наблюдения Земли, прошло несколько этапов. С 1980-х годов серьезный прогресс в этой области связан с появлением ранее невозможных повторяющихся измерений высокого качества для больших территорий. Первым шагом было метеорологическое дистанционное зондирование с геостационарной орбиты, с помощью которого в настоящее время составляются почти все прогнозы погоды в реальном времени. Данные спутниковых наблюдений о катастрофических событиях (лесные пожары, наводнения, землетрясения) стали важным ресурсом для минимизации убытков и поддержки гуманитарных миссий. Глобальные наблюдения позволили оценить негативное

влияние деятельности человека и природных факторов на важнейшие экосистемы на Земле: тропические леса, засушливые районы (опустынивание), леса умеренного пояса, океаны и побережья (перенос вещества, Эль-Ниньо) [2].

В конце 20 — начале 21 вв. произошли качественные изменения в технологиях дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ): появились космические аппараты со съемочными системами нового поколения, позволяющие получать снимки со сверхвысоким пространственным разрешением (до 41 см у спутника GeoEye-1). Съемки ведутся в гиперспектральном и многоканальном мультиспектральном режимах. Основными тенденциями последних лет является появление новых спутников сверхвысокого разрешения с улучшенными характеристиками (например, французская система Pleiades), разработка концепции оперативной и глобальной съемки земной поверхности с высоким разрешением с помощью группировок малых спутников (группировка немецких спутников RapidEye). В технологиях ДЗЗ помимо традиционных направлений (улучшение пространственного разрешения, добавление новых спектральных каналов, автоматизация процессов обработки и оперативного предоставления данных) появляются разработки, связанные с оперативной видеосъемкой объектов из космоса (например, разработки компании SkyBox Imaging, США).

В 2005 году международное сообщество (60 правительств) продекларировало создание системы систем наблюдения за Землей GEOSS (Geo Earth Observation System of Systems), которая обозначила новый этап в развитии глобального мониторинга и применения спутниковой информации для важнейших приложений (прогноз погоды, климатические изменения, контроль за энергетическими, водными, земельными ресурсами, биоразнообразием, последствиями бедствий, управление сельским хозяйством). Последующие события — принятие второго десятилетнего плана внедрения (2016—2025 годы), увеличение числа участников до более чем 100 стран, позитивные результаты многих проектов — показали, что эта инициатива становится доминирующим трендом в системе глобального мониторинга.

Политическая инициатива ведущих космических держав оказалась притягательной для большинства участников космической деятельности, а существующие международные проекты и инициативы (такие как CEOS — комитет спутниковых наблюдений Земли, IGOS — Интегрированная глобальная стратегия наблюдений, GCOS — глобальная система наблюдений за климатом, GOOS — глобальная система наблюдений за океанами,

GGOS — Глобальная геодезическая система наблюдений и др.) постепенно эволюционируют в сторону составных частей GEO или тесно с ней сотрудничают. Даже самодостаточный европейский проект (один из флагманов европейской космической политики) COPENICUS определяет свою деятельность как вклад в GEOSS. Изначальной идеей нового международного метапроекта стало распространение опыта Всемирной метеорологической организации, ВМО, на всю деятельность по мониторингу земной поверхности. В ходе реализации этой идеи удалось общий лозунг — удовлетворение потребностей пользователей — обратить в конкретные технологические решения и новые организационные структуры (среди последних выделим инициативу создания EuroGEOSS).

GEOSS [3] можно характеризовать как воплощенную идею современной парадигмы космической деятельности: конечным продуктом выступают сервисы, ориентированные на пользователя, а созданные технологии основаны на наиболее эффективных инновационных решениях. Прежде всего это уменьшение рисков и сохранение жизней людей при катастрофах и бедствиях, контроль состояния окружающей среды, новые возможности управления энергетическими, водными и земельными ресурсами, обеспечение достоверных прогнозов погоды и предсказаний последствий климатических изменений. Новый уровень эффективности решения этих жизненно важных проблем достигается не столько возможностями спутниковых систем (хотя это необходимое условие), сколько сочетанием наземных и спутниковых методов, принципиальным улучшением моделей экосистем, а также созданием информационных сервисов для непосредственного обеспечения пользователей.

Новая методология предоставления информационных сервисов (т.н. NEXUS подход) вызывает революцию в технологии использования данных [2, 4]. Речь идет о проблеме Big Data, которая обусловлена не только большим объемом данных, но также их разнородностью, необходимой скоростью обработки, фильтрации, документирования ее качества и неопределенностей, а также требованиями к визуализации. Эта проблема, возникающая в различных областях современной науки, имеет непосредственное отношение к GEOSS — интегрированной системе большого масштаба, состоящей из множества независимо функционирующих подсистем, связанных, однако, в интересах решения общих задач. Вариант решения предложен в рамках создания EuroGEOSS и предусматривает организацию посреднической (брокерской) подсистемы — DAB

(Discovery and Access Broker), которая обеспечивает интерфейс между пользователями и провайдерами [4].

Одна из наиболее амбициозных задач GEOSS в десятилетнем плане (2016—2025 годы) — обеспечить мониторинг сформулированных ООН целей устойчивого развития (SDG — Sustainable Development Goals). Предполагается отслеживать 100 глобальных показателей мониторинга, а также дополнительные национальные показатели, которые в совокупности отображают весь спектр SDG, связанных с окружающей средой [5]. Решение именно этой масштабной задачи, в первую очередь, сталкивается с упомянутой проблемой Big Data и вызывает принципиальные изменения в использовании данных космического мониторинга. Удастся ли построить технологическую цепочку от наблюдательных данных к моделям геосистем, а от них к индикаторам устойчивого развития и далее к управленческим и политическим решениям покажут результаты работ нескольких международных команд специалистов к 2030 году.

Средства спутникового наблюдения. Эффективность методов ДЗЗ существенно возрастает благодаря спросу на разнообразные услуги, развитию правительственных и международных программ. По данным ресурса [6] всего после 2000 года было запущено 616 спутников ДЗЗ, а по данным [7] в 2017 году активными были около 317 аппаратов. Диаграмма на рис. 3.1 демонстрирует динамику запусков относительно больших аппаратов (массой более 100 кг): если в 2013 году было запущено только 18 спутников, то в 2017 году их число составило 177.

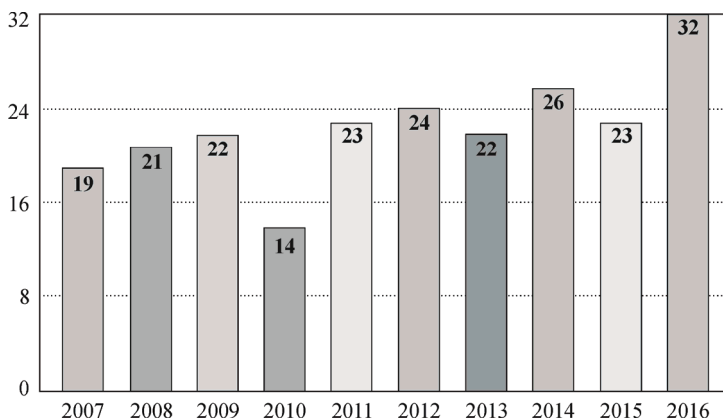


Рис. 3.1. Количество запущенных КА ДЗЗ массой более 100 кг в 2007—2016 гг. [6]

Аналитическое исследование Forecast International [6] показывает, что эта тенденция сохранится: с 2018 по 2032 год гражданские и коммерческие операторы получат около 4000 спутников (в стоимостном выражении до \$40 млрд.). Еще одной тенденцией на рынке спутников ДЗЗ является растущая коммерциализация. В период с 2011 по 2015 годы было запущено 363 коммерческих спутника и 92 спутника в интересах гражданских администраций. С 2014 года количество созданных коммерческих спутников значительно превысило число запусков гражданских спутников в стоимостном выражении.

Рассмотрим кратко некоторые примеры основных средств космических наблюдений [2, 6—9].

На рис. 3.2 показана общая схема европейской группировки *Sentinels*, предназначенная для обеспечения выполнения программы *Copernicus*. Развертывание системы, которое началось с апреля 1914 года, осуществляют по поручению Еврокомиссии совместно ЕКА и ЕВМЕТСАТ. Каждое из обозначенных семейств состоит из нескольких аппаратов, которые будут замещаться по мере окончания срока активного существования. Так, *Sentinel-1* включает пару SAR аппаратов (1A и 1B), предназначенных для мониторинга льдов, сдвигов земной поверхности, наводнений, разливов нефти и т. д. Уникальность миссии *Sentinel-2* связана с сочетанием большого территориального охвата, частых повторных съемок и, как следствие, систематическим получением полного покрытия всей Земли мультиспектральной съемкой высокого разрешения. Основной целью миссии *Sentinel-3* является наблюдение за топографией поверхности океана, температурой поверхности моря и суши, цветом океана и суши с высокой степени точности и надежности для поддержки систем прогнозирования состояния океана, а также для мониторинга окружающей среды и климата. *Sentinel-3* — наследник хорошо зарекомендовавших себя спутников *ERS-2* и *Envisat*. Пара спутников *Sentinel-3* характеризуется высокой повторяемостью съемок; их орбиты (815 км) обеспечивают получение полного пакета данных каждые 27 дней. Миссии *Sentinel-4* и *Sentinel-5* предназначены для обеспечения данными о составе атмосферы и будут реализовываться на платформе метеорологических спутников *Metop-SG* и *Jason-CS* и дополняют данные метеорологических спутников США (*EOS-Aqua*).

Активное развитие сектора сверхвысокого разрешения иллюстрируют разработки компаний США и Франции. В настоящее время компания *DigitalGlobe* является оператором спутников ДЗЗ

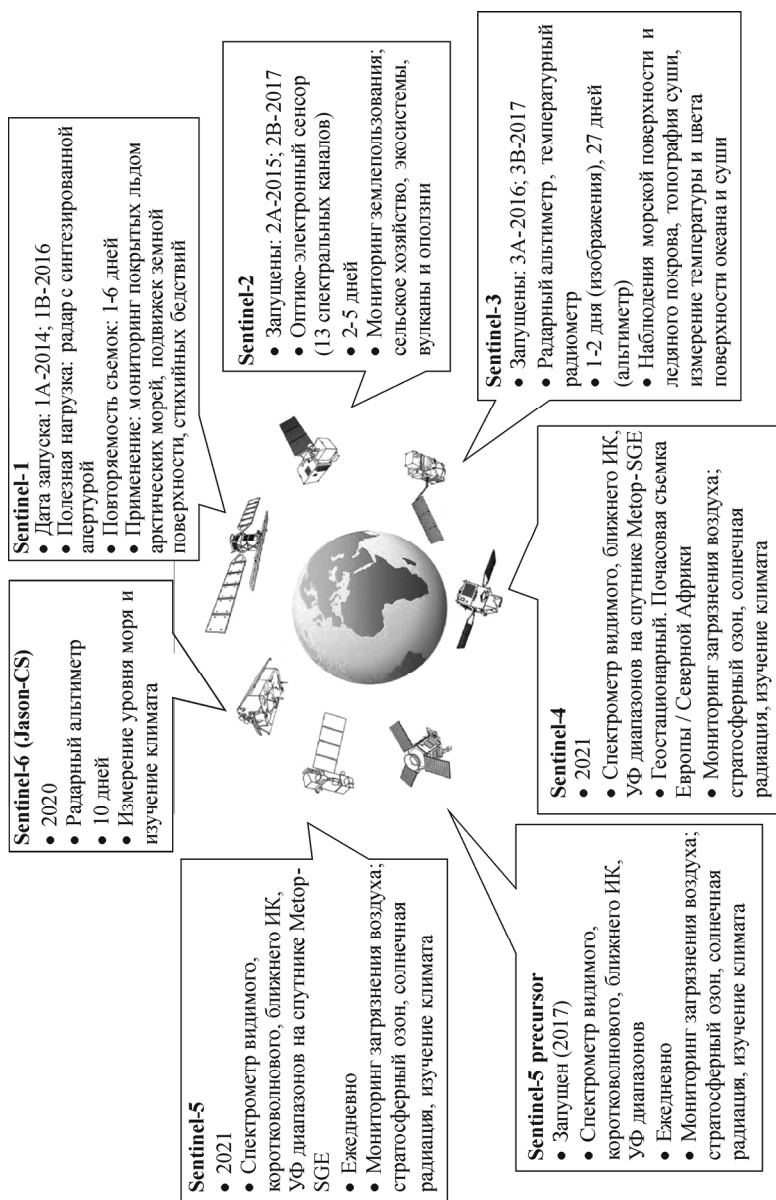


Рис. 3.2. Спутниковая система Sentinels программы Copernicus [2]

сверхвысокого разрешения *WorldView-1* (50 см), *WorldView-2* (46 см), *QuickBird* (61 см), *GeoEye-1* (41 см) и *IKONOS* (1 м). Общая суточная производительность системы — более 3 млн кв. км. КА *GeoEye-2* имеет разрешение в панхроматическом режиме — 0,25–0,3 м. В 2013 г. был осуществлен запуск нового КА *Landsat-8* (проект *LDCM* — *Landsat Data Continuity Mission*), который пополнит банк изображений, полученных с помощью спутников серии *Landsat* на протяжении уже 40 лет и охватывающих всю поверхность Земли. На КА *Landsat-8* установлены два сенсора: оптико-электронный (*Operational Land Imager, OLI*) и тепловой (*Thermal InfraRed Sensor, TIRS*).

Европейская спутниковая система ДЗЗ высокого разрешения *Pleiades High Resolution* создана французским космическим агентством *CNES*. Спутники *Pleiades-1A* и *Pleiades-1B* (запущены в 2011 и 2012 годах) синхронизированы на одной орбите таким образом, чтобы иметь возможность обеспечить ежедневную съемку одного и того же участка земной поверхности. Технологии нового поколения обеспечивают беспрецедентную маневренность: съемка 800-километровой полосы в любом месте производится меньше, чем за 25 с с точностью геопозиционирования меньше 3 м без использования наземных опорных точек и 1 м — с использованием наземных точек.

Примером новой частной инициативы служит проект Британской аэрокосмической компании *Earth-i*, которая с 2019 года запускает первые 5 спутников из большой группировки постоянного наблюдения за Землей с разрешением менее 1 м.

В Индии успешно эксплуатируется группировка из космических аппаратов различного назначения, в том числе серии КА *RESOURCESAT* и *CARTOSAT*. В частности, КА *RESOURCESAT-2* предназначен для решения задач предотвращения стихийных бедствий, управления водными и земельными ресурсами. Китай в течение последних лет создал многоцелевую орбитальную группировку спутников ДЗЗ, состоящую из нескольких космических систем — спутников видовой разведки, а также предназначенных для океанографии, картографии, мониторинга природных ресурсов и чрезвычайных ситуаций: *Yaogan (YG)-12*, *Yaogan (YG)-14* с оптико-электронным системой субметрового разрешения; *Yaogan (YG)-13* с радаром с синтезированной апертурой; КА *Hai Yang (HY)-2A* с микроволновым радиометром, *Zi Yuan (ZY)-1-02C*. В 2012 году Китай стал одним из лидеров по количеству запусков: *Yaogan (YG)-14* и *Yaogan (YG)-*

15 (видовая разведка), *Zi Yuan (ZY)-3* и *Tian Hui (TH)-2* (картографические спутники), *KA Huan Jing (HJ)-1C* (радиолокационный). Космические аппараты *TH-1* и *TH-2* — первые китайские спутники, которые могут получать стереоснимки в виде триплета для геодезических измерений и картографических работ.

Канада развивает серию спутников *RADARSAT*, укрепляя лидирующие позиции на рынке радарной съемки. В этом же секторе британская *SSTL* разработала и в 2018 году запустила новый бюджетный радарный КА *NovaSAR-S*, который ведет радарную съемку с разрешением 6–30 м, решая широкий спектр задач, включая мониторинг наводнений, оценку и классификацию растительного покрова, обнаружение стихийных бедствий и наблюдение за акваториями, в частности слежение за кораблями.

Национальные группировки ДЗЗ созданы в Испании (*PNOTS*), Германии (группировка оптико-электронных спутников *RapidEye*, радарные космические аппараты *TerraSAR-X* и *TanDEM-X*), Израиле (КА *EROS-A,B*), Японии (*ALOS*), Италии (радарные КА *COSMO-SkyMed-1-4*), Турции (серия спутников *Gokturk*), России. Спутники ДЗЗ имеют Нигерия (*Nigeriasat-X* и *Nigeriasat-2*), Аргентина (*SAC-D*), Чили (*SSOT*), Венесуэла (*VRSS-1*), Объединенные Арабские Эмираты.

Количество и типы спутников ДЗЗ, запущенных в 2016 году, иллюстрирует рис. 3.3. Полный перечень космических аппаратов наблюдения Земли отслеживает Международный комитет по спутниковым наблюдениям *CEOS* [9], аналитические обзоры размещены на тематических сайтах [6–10].



Рис. 3.3. Спутники разных классов и типов, запущенные в 2016 г. [6]

Фундаментальное значение для мониторинга погоды и климатических изменений имеет международная группировка метеорологических и геостационарных спутников, которая координируется европейскими членами EUMETSAT, США, Китаем, Индией, Японией, Южной Кореей и РФ (серии DMSF, NOAA, MetOp, JPSS). Между этими странами достигнут высокий уровень взаимодействия, который позволяет оптимизировать процесс наблюдения, калибровать данные (в рамках Глобальной интер-калибровочной системы, GSICS), распределять орбитальные ресурсы (совместная американо-европейская Система полярных спутников, JPS), обмениваться результатами (соглашение между Европой и Китаем).

Решение глобальных и региональных задач предполагает новый уровень моделирования, требования к которому (как и к качеству спутниковых данных) сформулировано в аналитическом обзоре [2]. Группа экспертов по поручению COSPAR подготовила фундаментальный обзор состояния и перспектив мониторинга геосистем на период до 2025 года, а также дорожную карту развития всех составляющих с точки зрения пользователей.

О некоторых направлениях применения и перспективах спутниковых наблюдений. К настоящему времени сформировался отчетливый тренд развития спутниковых наблюдений как одного из приоритетов космической деятельности. 30 лет спутниковых наблюдений Земли выявили принципиально новый пласт информации и закономерности, неизвестных ранее, хотя говорить о полноценном мониторинге еще рано. Рассмотрим кратко некоторые достигнутые результаты и инновационные решения с точки зрения пользовательского подхода Why Space?

Климатические изменения

С начала 80-х годов сформировались представления о климатической системе Земли и ее важнейших подсистемах: энергообмена; гидрологическом, водном, углеродном и других циклах (рис. 3.4). Большую роль сыграл аналитический доклад НАСА «Глобальные изменения: воздействие на среду обитания», в результате которого сформировались представления о приоритетах спутниковых наблюдений за этими подсистемами. В эпоху антропогенных воздействий космические средства позволили изучить закономерности, которые не выявлялись ранее. В первую очередь, это изменения в криосфере (в частности, подъем уровня моря, уменьшение снежного покрова в северном полушарии, отступление ледников и льда в арктических морях), а также уменьшение стратосферного озонового слоя и



Рис. 3.4. Схематический вид земной системы [2]

изменение характера загрязненности воздуха. С последним фактором связывают процесс перемещения на север зон растительности (особенно на границе тайги и тундры).

На основании спутниковых наблюдений первых трех десятилетий сложились представления о дальнейшей организации работ, международном сотрудничестве и перспективах предсказаний возможных сценариев развития земной системы. Среди реализуемых мер — последовательные исследовательские и мониторинговые миссии (так, в США параллельно работают НАСА и НОАА, а в Европе — ЕКА и ЕВМЕТСАТ); использование глобальных данных как основание выработки политики охраны окружающей среды [5, 11—13]. Отметим, что судьбы Киотского и Монреальского протоколов показывают насколько сложным является воплощение последнего принципа.

Глобальная спутниковая система метеорологических наблюдений

После запуска первого в США метеорологического спутника TIROS (Television and Infrared Observation Satellite) в 1960 году и европейского КА Meteosat в 1977 году метеорологические наблюдения перестали обеспечиваться исключительно наземными системами. Сегодня на орбите работают более 40 геостационарных [6, 8, 9] и полярных метеорологических КА, а также исследовательские спутники, которые используют новые методы наблюдений и по-

лучения данных. По данным Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF) спутниковая информация является наиболее важной частью глобальной системы наблюдений для современного компьютерного прогнозирования погоды.

Такая высокая значимость вызвана двумя причинами: а) средства спутниковых наблюдений существенно улучшились — как с точки зрения точности, так и параметров съемки (пространственных, временных, спектральных); б) достигнут значительный прогресс в понимании того, как использовать спутниковые данные для конкретных приложений. Особенно важным является последний фактор, поскольку получение геофизических данных с использованием параметров электромагнитного излучения, как правило, нетривиально. Следовательно, использование таких наблюдаемых величин, как, например, поля яркости, сделали необходимым серьезный прорыв в разработке методик ассимиляции спутниковых данных.

Большинство прогнозов погоды на период более нескольких часов выполняются с помощью компьютерных моделей, которые пытаются учесть основные физические закономерности путем решения нелинейных дифференциальных уравнений и нахождения приближенных численных решений. Однако многие из соответствующих физических процессов, таких как турбулентность, перенесение излучения или образование туч, явно не обрабатываются, а параметризуются. Обычно расчеты проводятся на период от нескольких до десяти дней. Хорошие результаты прогнозирования в среднем достигаются для седьмого дня, хотя качество значительно уменьшается со временем.

Таким образом, глобальная система метеорологических наблюдений обеспечивает начальные условия для численного прогноза погоды. Кроме того, на основе спутниковых наблюдений выпускают предупреждения о штормах, тропических циклонах, ветрах на разных высотах и волнении. Более 90 % объема данных, ассимилируемых в глобальных моделях численного прогнозирования погоды, поступает из космических систем. Тем не менее, прямые измерения с поверхности с помощью радиозондов и с воздушных судов по-прежнему необходимы для предоставления геофизических переменных, которые сложно получить с помощью дистанционного зондирования, а также для мониторинга мелкомасштабных явлений и обеспечения независимой проверки достоверности и калибровки данных.

Будущие достижения глобальных прогнозов погоды будут определяться инструментами с улучшенной спектральной разрешающей способностью, глобальными наблюдениями за полями ветров с помощью доплеровского лидара, а также измерением осадков и

изучением химического состава атмосферы. На определенном этапе все геостационарные спутники будут оборудованы гиперспектральными инфракрасными датчиками, обеспечивающими частое зондирование температуры и влажности. С точки зрения стратегии будущих космических систем наблюдений следует ожидать продолжения сотрудничества между оперативными и исследовательскими космическими миссиями. В конечном итоге будет создана всеобъемлющая и надежная система наблюдения, в которой вклады от разных спутниковых операторов будут дополнять друг друга. Эти миссии будут основаны на потребностях пользователей и направлены не только на прогноз погоды, но и на решение проблем оперативной океанографии, химии атмосферы и мониторинга климата [12—14].

Спутниковая геодезия

Наши представления о Земле, ее структуре, динамике и взаимосвязанных процессах, которые происходят в ее недрах и на поверхности, быстро обогатились благодаря использованию данных спутниковых наблюдений. Для большинства прикладных задач необходимы одновременные наблюдения за большими площадями поверхности, а также изучение формы, размеров, особенностей вращения, гравитационного поля, механических свойств Земли путем наблюдения положений спутников Земли. Это стало реальностью с 80-х годов 20 века, когда спутниковая геодезия стала неотъемлемым компонентом современных геодинамических исследований и вызвала революционные изменения в науках о Земле [14].

Благодаря новой пространственно-временной информации, основанной на радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами (РСДБ) и глобальной системе позиционирования (GPS), получены непосредственные измерения скорости движения тектонических плит. Современные данные о тектонике плит обусловили возможность предсказаний широкого круга явлений, в частности в области сейсмических явлений и климатических изменений. Новые методы регистрации трехмерных деформаций земной коры на основе GPS и лазерной локации и высокоточные измерения интерферометрического радара с синтезированной апертурой InSAR дают более высокий уровень предсказания сейсмоопасных явлений.

Высокоточные измерения скорости вращения Земли с помощью GPS и лазерной локации геодезических спутников LAGEOS и STARLETTE позволили оценить динамику сдвигов положения полюсов Земли и изменения продолжительности дня.

Три спутниковые миссии CHAMP (2000—2010), GRACE (2002—2015), GOSE (2009—2013) изучали гравитационное поле Земли, в частности, пространственные и временные его вариации.

ции; картографирование гравитационного поля используется во множестве прикладных геофизических задачах, таких как конвективное движение в мантии или выявление вариаций уровня моря.

Подробное изучение магнитного поля Земли в настоящее время проводит миссия из двух спутников SWARM (продолжает программу, которую ранее выполняли три низкоорбитальных спутника ORSTED, CHAMP и SAC-C). Ожидается, что в результате этой миссии магнитное поле Земли будет детально изучено в течение всего 11-летнего цикла солнечной активности. Глобальные измерения геомагнитного поля все шире используются в геологоразведке, навигации, оценках структуры литосферы, а также для изучения магнитосферы, ионосферы и воздействия космического излучения.

Эти примеры объясняют чрезвычайно высокую оценку спутниковой геодезии, которая стала не только ключевой составляющей современной геодинамики, но и способствовала коренным изменениям в современных науках о Земле.

Мониторинг поверхности суши и океанов

Это наиболее развитая сфера применения спутниковых наблюдений непосредственно связана с экономической деятельностью и жизнью человека. Кратко рассмотрим выборку областей применений дистанционных методов в соответствии с рубрикацией, предложенной в [2, 14].

Картография и классификация типов поверхности. Базовым требованием управления земельными ресурсами и природоохранной деятельности является использование обновляемой информации о характеристиках земной поверхности. Картографирование земной поверхности в интересах землепользования осуществляется в разных масштабах. Наиболее востребованной в Европе в области среднего разрешения (масштаб отображения 1 : 100000) была программа CORINE для грунтового-растительного покрова, основанная на анализе данных КА Landsat-7, которая используется как универсальный продукт для широкого спектра задач.

Сельское, лесное и водное хозяйство. Инновационные концепции применения дистанционных данных в аграрной сфере используют совокупность навигационной, наблюдательной и ГИС-информации (топография, характеристика земель, влажность почвы). Наиболее развитая в настоящее время технология точного земледелия находит возрастающее применение в фермерской среде. Другой уровень пользователей представляют управленцы и политики, для которых прогноз состояния агроресурсов — это вопрос продовольственной безопасности и инструмент экономического регулирования.

Спутниковые данные сегодня дают достоверную информацию о составе древесины, ее плотности, состоянии развития, содержании влаги и количестве биомассы. Такая технология в совокупности с данными наблюдений прошлых лет создает ретроспективу эволюции лесных массивов, количественную оценку изменения видов, соотношение природных лесов и насаждений, последствий вырубок.

Наводнения, лесные пожары, менеджмент аварий. Оптические и радиолокационные датчики способны регистрировать распределение паводковых вод, а затопленные районы можно классифицировать в зависимости от спектральных и текстурных характеристик. Картографирование пожаров проводится сенсорами в среднем и тепловом ИК диапазонах. Спутниковые данные об этих и некоторых других бедствиях используют совместно с традиционными картами, отображающими рельеф, транспортную сеть или сельскохозяйственные угодья. Международными программами «Хартия по космосу и глобальным катастрофам» (International Charter on Space and Major Disasters), 1999 и программой ООН UN SPIDER (United Nations Platform for Space-based Information for Disaster Management and Emergency Response), 2006 предусмотрено бесплатное предоставление космических данных для быстрой оценки последствий катастроф.

Опустынивание. Дистанционные данные для этого применения исключительно эффективны, поскольку дают возможность делать выводы о скорости процесса и сравнивать различные ландшафтные зоны. Наиболее известный процесс опустынивания, задокументированный с помощью спутниковых данных — Аральское море.

Топография. Сегодня цифровые модели рельефа — одно из наиболее важных представлений данных, которые используются в геопространственном анализе. Дистанционные данные уже стали существенным дополнением наземных и аерофотограмметрических наблюдений. Создание цифровых моделей позволяет разработать технологии съемки в оптическом и ближнем инфракрасном диапазоне (наложением стереоизображений), а также SAR-интерферометрии.

Землетрясения и извержения вулканов. Технологии интерферометрии с помощью данных радаров с синтезированной апертурой (InSAR) доказали свою информативность в мониторинге последствий более чем 30 землетрясений: регистрируются сдвиги поверхности порядка 500 мм при охвате значительных площадей (100 × 100 км). Еще одно преимущество — возможность наблюдения труднодоступных площадей. Дистанционные методы являются единственно возможными для исследования энергии, выделяющейся вблизи вулкана или в облаках извержения.

Поиск полезных ископаемых и изучение грунтов. Геологическое картирование, основанное на использовании мультиспектральных оптических датчиков (таких как Landsat), использует спектральные характеристики породообразующих минералов; космические SAR-системы обеспечивают возможность структурно-тектонического анализа новых районов геологоразведки. Таким образом, появился новый тип карт — минеральные карты, которые отображают фундаментальные геологические признаки и дают информацию о распределении минералов в окрестностях месторождений.

Загрязнения. Дистанционные методы являются вспомогательным средством для локализации загрязнений, мониторинга последствий аварий. Используются не прямые данные (стресс растительности), а также спектральный анализ поверхности под действием внешних факторов и фиксация изменений.

Мониторинг городских агломераций. На основании оптических данных среднего разрешения оценивается расширение площадей застройки, уменьшение зеленых зон, площадь несанкционированной застройки, что позволяет прогнозировать социально-экономические и экологические риски. Измерения тепловых потоков дают новые данные о влиянии мегаполисов на окружающую среду.

Наблюдение за криосферой и поверхностью океанов. С точки зрения экономического использования (о влиянии на климат упоминалось выше) непрерывные спутниковые наблюдения используются для оптимизации рыболовства, слежения за экологическими изменениями (цветение воды), безопасности судоходства (характеристики ветров и волнения). Важнейшими измеряемыми (восстанавливаемыми) параметрами являются температура морской поверхности, поля ветров, характеристики волн, продуктивность фитопланктона, динамика ледового покрова, оценка загрязнений (разливов нефти).

Применение спутниковых наблюдений расширяется за счет быстрого внедрения новых средств съемки, комплексирования разных источников информации, применения малых космических аппаратов. Расширение рынков ДЗЗ ведет к ускорению коммерциализации этого вида космической деятельности; однако на сегодня его развитие, в том числе и коммерческого сектора, определяется бюджетной политикой государств и масштабными международными инициативами (такими как GEOSS или COPERNICUS). Перспектива развития связана с осознанием на разных уровнях новых возможностей и безальтернативности обеспечения устойчивого развития с помощью глобальных наблюдений Земли.

3.3. О спутниковых телекоммуникациях

Эта сфера занимает наибольший сегмент в современной космической деятельности, а услуги ориентированы на самый широкий круг пользователей. Из 1400 активно работающих космических аппаратов более половины — телекоммуникационные. Вклад коммерческой составляющей в оборот космического сектора экономики (до 70 %) определяется, главным образом, этим сектором услуг, который практически не потребляет бюджетного финансирования (исключение составляют оборонные заказы) [10, 14, 15]. Коммерческий характер космических телекоммуникаций проявляется и в обновлении технического облика наземных и космических систем, который формируется в условиях жесткой конкуренции с наземными технологиями. Начало спутниковых телекоммуникаций справедливо связывают с идеей А. Кларка использовать геостационарную орбиту (ГСО или орбиту Кларка), разместив на ней ретрансляционные станции. Так, три спутника, расположенных над экватором на расстоянии, соответствующем 120 градусам дуги, могли бы обеспечить полное покрытие земного шара (кроме Южного и Северного полюсов). Эта идея на практике осуществилась (после нескольких демонстрационных попыток) в 1965 году, когда вновь созданная организация Intelsat (International Telecommunication Consortium) вывела на геостационарную орбиту свой спутник Early Bird (Intelsat-1), затем были созданы аналогичные региональные организации (Eutelsat, Arabsat и другие). С течением времени доля передачи речи в общем объеме магистрального трафика постоянно снижалась, уступая место передаче данных.

Первые спутники связи разрабатывались для обеспечения услуг передачи на большие расстояния. Они предназначались для передачи в диапазоне относительно высоких частот, а сигнал состоял или из большого количества индивидуальных телефонных соединений, или одного телевизионного канала. После этого рынок телекоммуникаций претерпел серьезные изменения из-за увеличения количества трансокеанских кабелей и развития оптоволоконных технологий; при этом возможности спутников существенно улучшались.

Преимущества использования спутниковой связи в сравнении с наземными средствами связаны с широкой зоной покрытия, которую можно обеспечить даже с помощью одного спутника, и относительно низкой стоимостью разработки и вывода на орбиту спутниковых систем в сравнении с созданием эквива-

лентного покрытия наземных сетей. К этому надо добавить относительно короткое время обеспечения 100%-го покрытия по сравнению с развертыванием наземного покрытия. Принципиальным преимуществом является и возможность мобильной связи для судов и самолетов над океаном, а также в регионах, где наземные средства недостижимы.

Учитывая требования рынка, пропускную способность спутников стремительно наращивали. Когда в 1968 году был введен в эксплуатацию Intelsat-3, его пропускная способность составляла 1200 одновременных голосовых операций и два телевизионных канала. В 1971 году Intelsat-4 обеспечивал до 4000 операций, а Intelsat-5 в 1980 году — до 12000 [15]. В то же время существуют ограничения пропускной способности, которая связана с ограничениями используемого частотного спектра. Волоконно-оптические кабели имеют очень широкую полосу пропускания, и когда спутники стали проигрывать в пропускной способности кабелям, роли, в которых они доминировали, изменились.

Во-первых, новые технологические разработки преодолели роль спутника как ретранслятора. Современные аппараты в качестве полезной нагрузки несут не только транспондеры, но и разворачиваемые в космосе рефлекторы. Последние формируют сотни узких лучей, которые обеспечивают многократное использование одного и того же частотного интервала. Кроме того, разработана технология генерации более узких лучей, которые покрывали территории большие, чем зона прямой видимости со спутника.

Во-вторых, области применения спутниковой связи в зависимости от типа услуг и пользователя сконцентрировались на определенных сегментах: фиксированная спутниковая служба (FSS), мобильная спутниковая телефонная связь (MSS), спутниковая служба радиовещания (BSS), услуги передачи данных (DRS). Из всех приложений для спутников наиболее прибыльным является их использование в непосредственной трансляции из спутников в эфир телевизионных программ (Direct to Home, DTH). Способность одного геостационарного спутника обеспечить вещание телевизионных каналов на большой территории позволяет нескольким таким спутникам получать годовой доход в десятки и сотни миллионов долларов.

Перспективы развития спутниковой связи связаны с прогнозируемым ростом потребностей в передаче информации. Мировой спрос на пропускную способность, особенно для интернет-трафика, растет в геометрической прогрессии и, как ожидается,

будет увеличиваться в ближайшем будущем. Согласно оценке потребностей одного человека в пропускной способности интернета, сделанной для США в 2001 году, предусматривается совокупный годовой темп роста (Cumulative annual growth rate, CAGR) около 100 %. Фактический рост в 2003 году составил около 75 %, Согласно прогнозам Cisco глобальная цифровая трансформация в период с 2016 по 2021 годы будет по-прежнему существенно влиять на запросы и потребности IP-сетей [16]. На это прежде всего указывают: прогнозируемый рост количества интернет-пользователей (от 3,3 до 4,6 млрд, т. е. 58 % мирового населения), ускоренное увеличение количества персональных устройств и межмашинных соединений, увеличение средней скорости широкополосного доступа и прирост видео-трафика. Как ожидается, мировой объем IP-трафика за прогнозный период вырастет втрое и к 2021 г. достигнет 3,3 зеттабайт (в 2016 г. аналогичный показатель составлял 1,2 зеттабайт). На долю приложений интернета вещей в мире к 2021 г. придется больше половины устройств и соединений [17]. Спутниковая составляющая в этом объеме составляет небольшой процент, однако в абсолютном выражении рост стоимости сервисов ожидается впечатляющим.

Ярким примером инновационного использования ИКТ, в том числе спутниковых, является *телемедицина*. В настоящее время во многих странах в практику введены штатные услуги телемедицины (например, телерадиология — передачи цифровых радиологических изображений (рентгеновских снимков) с целью интерпретации и/или консультации). ВОЗ разрабатывает проект создания глобальной сети телекоммуникаций в медицине, включающей электронный обмен научными документами и информацией, ее ускоренный поиск с доступом через телекоммуникационные сети. Самый развитый рынок телемедицинских консультаций в США: в 2016 году в стране было проведено около 1,25 млн телеконсультаций, которые способствовали сокращению количества госпитализаций и обращений за очной консультацией.

Нового качества сервисов следует ожидать от сочетания спутников связи и спутников для наблюдения за Землей, что приведет к более эффективному мониторингу катастроф, их последствий и предоставления помощи. Такое объединение способно обеспечить быстрое выявление и реагирование на природные и техногенные катастрофы. Развивается новая индустрия, предоставляющая транспортным средствам услуги, которые являются синтезом услуг связи и навигации.

3.4. О спутниковой навигации

Созданные первоначально для нужд обороны системы спутниковой навигации обеспечивают сегодня широкий круг потребителей информацией относительно местонахождения и времени, круглосуточно, независимо от погоды, по всему земному шару и в околоземном пространстве. Спутниковая навигация является наиболее эффективной с точки зрения точности, доступности, целостности и непрерывности по сравнению с любым другим наземным датчиком или методом.

В настоящее время для позиционирования, навигации и синхронизации используются американская глобальная система позиционирования (GPS), российская глобальная навигационная спутниковая система (ГЛОНАСС), европейская спутниковая навигационная система «Галилео» и Compass — спутниковая навигационная система под управления правительства Китая. Есть и менее масштабные системы (ARGOS, EUTELTRACS, GEOSTAR). Спутниковые навигационные технологии все чаще используются практически во всех сферах деятельности, а высокий уровень эффективности уже сделал их необходимым инструментом в решении многих профессиональных, коммерческих и научных проблем [18—21].

Наличие сетей связи и географических информационных систем (ГИС), а также общее сокращение расходов, уменьшение размера и потребляемой мощности спутниковых навигационных приемопередатчиков вывели этот рынок на большой объем потребления. Государственные органы, например Европейская комиссия, устанавливают регулятивные нормы, способствующие использованию спутниковой навигации с целью повышения безопасности и эффективности всех видов транспорта (железнодорожного и автомобильного, морского, авиационного). Кроме того, высокоточное позиционирование успешно используется в наблюдениях, геодезии, многих ответвлениях наук о Земле (геодинамика, изучение погодных и климатических явлений). Точное определение времени — необходимый компонент телекоммуникаций, энергетики, финансового сектора и страхования.

Инфраструктура европейских стран использует возможность непрерывного высокоточного измерения времени для синхронизации базовых станций связи и сети энергоснабжения, банковских и финансовых операций. Очевидно, что использование системы GPS в военной сфере обуславливает ее значительную роль в управлении системами вооружений.

В этих сферах современной экономики и управления непрерывное обслуживание имеет жизненно важное значение. Нарушение систем спутниковой навигации является угрозой для экономики, безопасности и связанных с безопасностью сервисов. Поэтому в каждой глобальной навигационной спутниковой системе принимаются меры предосторожности для защиты услуг, которые должны предоставляться непрерывно, что требует спектрального разделения частот и обеспечения контролируемого доступа.

Учитывая статистическую информацию из упомянутых сфер деятельности можно сделать вывод о том, что в спутниковой навигации действительно наблюдается общий прорыв в применении. Однако коммерческие приложения спутниковой навигации сталкиваются с трудностями, поскольку собственно продукты спутниковой навигации (координаты местонахождения и скорости) не могут сами по себе давать прибыль. Только при создании дополнительных услуг путем объединения позиционирования и времени с услугами связи и географической информацией гарантирован коммерческий результат.

С появлением GPS многие дисциплины обогатились новыми методами. Так, методы оценивания содержания водяного пара для улучшения моделей погоды или радиопросвечивание ионосферы могут служить примерами дополнительных продуктов, которые никогда не закладывались при разработке GPS. Вполне реалистичны предположения о разработке новых применений спутниковой навигации, которая во многих случаях используется также для осуществления геоинформационных и телекоммуникационных услуг.

Прогнозируется также возрастание точности позиционирования (вплоть до субмиллиметрового уровня), надежнее станут кинематические возможности в режиме реального времени. Пользователь будет иметь возможность отслеживать данные большего количества спутников, используя один и тот же приемопередатчик (соглашение между GPS и Галилео). Это приведет к большей надежности и появлению многих новых услуг.

Станет возможным спутниковое позиционирование и навигация в помещении, при использовании новых разработок в обработке сигналов для повышения чувствительности и отслеживания слабых сигналов. В будущем приемопередатчики спутниковой навигации будут интегрированы с разнообразными датчиками для того, чтобы преодолеть недостатки спутниковой навигации в некоторых приложениях (прерывание сигнала, слежки, автономия и так далее).

3.5. Безопасность и оборона

Применение космических технологий в сфере безопасности и обороны выходит за пределы настоящего анализа, поскольку представляет другой взгляд на всю космическую деятельность и предполагает иную структуру изложения. Однако воспользуемся сентенцией одного из обзоров Европейского института космической политики: «космос имеет оборонное измерение, а оборона, в свою очередь, имеет измерение космическое» [22]. Это оправдывает краткое резюме данной темы под углом зрения «Why space?», который представляет невоенного пользователя. Конкретнее, рассмотрим два аспекта применения космической техники и технологий, задающих тренды современной КД. Во-первых, это концептуальный подход европейской космической политики относительно двойного применения космических средств, а во-вторых, это новая американская стратегия военного космоса, которая может влиять на облик современной КД в целом.

Европейская политика безопасности и обороны (European Security and Defence Policy, ESDP) [23] определяет всеобъемлющий подход ЕС к урегулированию кризисов, который включает использование как гражданских, так и военных средств. Этот подход задает направленность космической деятельности на уровне ЕС, в которой принцип двойного применения космических технологий является приоритетом (в «Европейской космической политике» есть специальный раздел ESDP and Space) [24]. Конкретно, это означает, что гражданские космические программы ЕС, Galileo и COPERNICUS имеют военных пользователей и могут применяться в случае военных конфликтов (напомним, что первоначальное название проекта COPERNICUS-GMES — Глобальный мониторинг в интересах окружающей среды и безопасности).

Политика, основанная на гражданско-военном подходе к урегулированию кризисов, имеет и важную экономическую составляющую. Наряду с оптимизацией производства, предотвращения дублирования и т. п. решается стратегическая задача формирования европейского аэрокосмического и оборонного сектора. Он должен объединить гражданские и оборонные производственные мощности вокруг двух транснациональных системных интеграторов (EADS и Thales Alenia Space), что способствует технологическому сближению гражданских и военных космических программ, а также реализации космических инициатив в масштабах всего ЕС.

Таким образом, происходит процесс сращивания гражданского и военного космоса, который идет по трем направлениям: создание технологий двойного применения, привлечение частных

инвестиций в космические технологии и, с одной стороны, совместное использование систем для передачи информации гражданским ведомствам от военных средств а, с другой, привлечение коммерческих космических систем для решения военных задач [25].

Примерами реализации этого подхода может служить Программа ЕКА Space Situational Awareness (SSA), предназначенная для обеспечения доступа в космос и использования его ресурсов. Она состоит из трех компонентов, отслеживающих космическую погоду, околоземные объекты (астероиды и кометы, которые могут потенциально воздействовать на Землю) и космический мусор. Каждый из компонентов имеет научную составляющую, а организованные сервисы представляют собой программу оборонного значения.

Еще один пример — космические группировки COSMO-SkyMed (4 КА, оснащенные РСА, введены в эксплуатацию в 2008 г.) и Pléiades (2 КА, оптика высокого разрешения 0,5 м, 2012 г.), являющиеся составной частью инициативы GMES/COPERNICUS. Технические возможности этих группировок позволяют решать широкий круг военных задач и в то же время обеспечивают их коммерческое использование.

Данные с военных спутников и гражданских аппаратов вместе с другой информацией (демографическая статистика, транспортная инфраструктура) активно используются в ГИС системах для решения расширяющегося круга задач мониторинга за опасными явлениями и последствиями конфликтов. Показательный пример из этой области — ГИС система, разработанная для восстановления Косово и переданная местным властям [14].

В области мониторинга катастроф (лесных пожаров, наводнений), менеджмента аварийных ситуаций и организации гуманитарной помощи ключевой технологической задачей является совместное использование данных дистанционного зондирования и телекоммуникационных систем. Трагедия 2004 года в Таиланде показала, что одной из причин массовой гибели людей стало отсутствие своевременного предупреждения, хотя наблюдательная информация давала такую возможность. Военные технологии в этой сфере демонстрируют огромные возможности современного комплексного применения космических технологий. Так, опыт военной операции союзников в Афганистане в 2002 году продемонстрировал новый уровень контроля за ситуацией и управления боевыми действиями. В условиях горной местности каждый военнослужащий получал детальную видеoinформацию со спутника, от собственных средств, поддерживая непрерывную связь с командованием через спутник. Таким образом эффективность совместных действий и каждого участника операций принципиально возросла, хотя действовали вне

зоны прямого контакта. Этот опыт имеет огромную ценность для организации спасательных операций в малодоступных районах.

Изложенное выше относится к одному из аспектов военных применений космических технологий, а именно использованию информации космических средств на земле. Военная космическая деятельность традиционно включает в себя несколько составляющих: обеспечение доступа в космос, разведку, связь, навигацию и контроль передвижений на суше, на море, в воздухе и в космосе, включая системы предупреждения о ракетном нападении. Краткая информация о некоторых разрабатываемых и действующих технологиях приведена с использованием классификации из обзора [26].

Интенсивно развивающееся направление — создание *спутников (микроспутников), способных маневрировать на околоземной орбите*, что позволит создавать гибкие спутниковые системы: концентрировать их над зоной конфликта и модернизировать компоненты без замены спутников целиком. Известно о запусках несколько экспериментальных аппаратов США и РФ. Активно обсуждаются орбитальные эксперименты США, РФ и Китая, которые продолжают программы истребителей-спутников эпохи холодной войны. В 2007 года КНР провела успешное испытание противоспутникового оружия: ракетой КТ-1 был уничтожен выработавший ресурс метеорологический спутник, находившийся на высоте более 800 км.

Системы контроля космического (околоземного) пространства позволяют получить картину космической деятельности разных государств. Полноценную систему СККП имеют США и РФ (восстановлена соответствующая советская система, а европейская SSA упоминалась выше). США помимо развитой наземной инфраструктуры, расположенной в разных точках мира и позволяющей контролировать околоземную орбиту, имеют три спутниковые системы: орбитальная система космического наблюдения (Space Based Surveillance System, SBSS), космическая система сопровождения и наблюдения (Space Tracking and Surveillance System, STSS) и геосинхронные спутники системы выявления космических объектов (Geosynchronous Space Situational Awareness Program, GSSAP).

Американский беспилотный космический корабль многоцелевого использования X-37B — это экспериментальный образец, который с 2010 года демонстрирует возможность на протяжении многих месяцев находиться в околоземном пространстве, менять свою орбиту, совершать посадку на аэродром и после необходимого обслуживания снова отправляться в космос. Аппарат может играть роль тяжелого спутника разведки и связи и быть носителем микроспутников.

Еще одно экспериментальное направление военного космоса — попытки создания *гиперзвуковых летательных аппаратов*.

Планируется, что они будут перемещаться в верхних слоях атмосферы и по суборбитальной траектории, а управляться с помощью космических систем. При этом запуск может осуществляться с использованием ракеты-носителя легкого класса. Гиперзвуковое движение открывает дорогу к практической реализации концепции быстрого глобального неядерного удара (Prompt Global Strike).

После окончания холодной войны и достижения беспрецедентного уровня международного сотрудничества представлялось, что соперничество в космосе переместится главным образом в технологическую сферу. Более того, на концептуальном уровне КД рассматривалась как пример «мягкой силы» [27]. Концепт «мягкой силы» выражается в способности государства добиваться желаемых результатов невоенными методами, посредством развития духовной и материальной культуры, следованием общественным и политическим принципам, повышающих привлекательность государства. Этот концепт противостоит прежней идеологии Space Power — космической мощи, смысл которой аналогичен, например, мощи морской [28].

Практическая деятельность, как и стратегические документы США свидетельствуют о реальности возвращения военного противостояния в космосе. Принятая в США военная доктрина предполагает не только использование космических средств во время боевых действий на Земле, но и проведение операций в космическом пространстве. Знаковым событием стало решение Президента США Д. Трампа об организации космических сил (Space Force), которое должно быть реализовано в 2020 году. Бурное обсуждение деталей крупнейшей реформы американских вооруженных сил с 1947 года не должно заслонить принципиальный тренд усиления военного аспекта мировой космической деятельности. Формальной причиной этого решения явились сведения об испытаниях в РФ и Китае новых противоспутниковых систем, которые ограничивают свободу действий США в космосе [29]. Однако есть основания полагать, что эти факты послужили поводом для давно созревшего решения, которое ранее нашло отражение и в военной доктрине, и в космической стратегии США. Причина этих резонансных действий заложена в концептуальных основах американской космической политики, ориентированной на глобальное доминирование. Современный уровень космических систем переводит в практическую плоскость проблему освоения космических ресурсов как условие национального развития: космос становится огромным рынком [30]. Поэтому, выстраивая собственную позицию относительно космической стратегии, необходимо учитывать военные аспекты всех международных программ, включая лунную и марсианские миссии.



О КОСМИЧЕСКОЙ ЭКОНОМИКЕ

*Инновация отличает
лидера от догоняющего.*

С. Джобс

4.1. Введение

С экономической точки зрения космос — это ресурс, который используется для земных нужд, а космическая индустрия есть специфическая отрасль (как авиация или геологоразведка). Предметом рассмотрения служат закономерности хозяйственных процессов между субъектами КД, потоки материальных ценностей и денежных средств. При этом используют разные уровни рассмотрения: макро-, мезо- или микроэкономический и анализируют влияние космической индустрии на экономику страны или показатели работы отдельных предприятий.

В данной главе нет полного обзора этой проблематики или исчерпывающего анализа экономической составляющей КД. Ее направленность (Why Space?) определяет приоритетность вопросов о том, во что обходится сегодня, что дает и что может дать в экономическом плане космическая деятельность с точки зрения космических перспектив Украины. Поэтому ниже используются результаты различных аналитических работ, которые помогут сформировать основания для ответов на эти вопросы.

Можно говорить также о разных позициях, с которых рассматривается экономика КД. С начала космической эры популярны расчеты окупаемости космических поселений, доставки на Землю полезных ископаемых, снабжения Земли энергией. С окончанием холодной войны и военно-стратегического противостояния сверхдержав актуальными стали проблемы коммерциализации космических программ, трансфера технологий в гражданские отрасли. Космические агентства имеют специальные программы для внедрения космических разработок

в земные технологии (spin-off), а также использования прорывных решений земной промышленности для космических нужд (spin-in). Непременным атрибутом менеджмента космических программ стала оценка их социально-экономической эффективности. Эти тенденции обусловлены все большей ориентацией программ на потребителей по сравнению с традиционной задачей стратегического доминирования. Отметим, однако, вслед за автором [1], что и сегодня экономический аспект космических программ далеко не всегда определяющий: «Physics Enables, Politics Dictates, Economics Sustains». Многие программы, как и в начале космической эры, имеют политическую мотивацию или стимулируются соображениями военного и стратегического превосходства. И все же экономическая оценка планируемых миссий относится сегодня к приоритетным критериям принятия решений, а оценкой эффективности программ занимаются авторитетные исследовательские центры.

Прежде всего остановимся на фундаментальном вопросе относительно экономической отдачи космических программ и перспективной их прибыльности. Объективная статистика свидетельствует о постоянном увеличении списка стран, имеющих космические программы (на 2018 год их около 40), т. е. тратящих бюджетные деньги на космос на постоянной основе. Причем космические гранды (США, ЕС, Китай, Россия, Япония) поддерживают практически постоянный высокий уровень космических расходов, несмотря на кризисные периоды. В то же время страны с динамично развивающейся экономикой (Индия, Бразилия, Израиль, Аргентина, Вьетнам, Турция) демонстрируют желание неуклонно наращивать космический потенциал. Тенденция вкладывать существенные средства в определенные (приоритетные) виды космических технологий характерна и для стран, стремящихся к региональному лидерству (Турция, Иран, Египет, ОАЭ). Из этого факта можно заключить, что экономический рост большинство правительств связывают с применением космических технологий и поэтому тратят значительные бюджетные средства на космические программы.

В то же время аналитики-скептики утверждают, что космос — это удел держав, которые стремятся к глобальному доминированию; полеты за пределы земной атмосферы повышают имидж, стратегическую значимость, и т. п., но не предполагают значительного экономического эффекта. Действительно, практически все значимые космические программы на сегодня не являются прибыльными и поддерживаются бюджетным финанси-

рованием. Те же, которые вышли на коммерческое использование, включают в себя огромные скрытые расходы прошлых лет: телекоммуникационные и навигационные проекты используют технологические наработки эпохи холодной войны, переданные государством в частный сектор. Стратегическая ориентация современных международных программ направлена на исследование и освоение космического пространства (от околоземной орбиты к Луне и Марсу), а тезис 1980-х годов об индустриализации космоса современная космическая политика отложила. Нынешнее обсуждение коммерческих перспектив космонавтики охватывает в основном два направления: космический туризм и использование малых космических аппаратов. Необходимо признать, что в целом о прибыльности космонавтики в ближайшей перспективе говорить нереалистично: из возможных ресурсов космоса (энергия, сырье, уникальные технологические условия и др.) человек научился использовать только пространственный фактор. Возможный прорыв в коммерциализации КД следует связывать с двумя условиями, выполнение которых наметилось в последние годы: резкому снижению стоимости пусковых услуг и приходу частного капитала в космонавтику.

Для того чтобы ответить на вопрос о том, зачем развивать отрасль, которая сегодня не дает быстрого и ощутимого экономического эффекта, недостаточно заглянуть в текущие космические стратегии и программы (подробнее см. главу 7). Официальные документы приводят прогнозные данные о внедрении новых технологий и информационных систем, стимулировании некосмических отраслей экономики, решении глобальных задач и других, главным образом, косвенных эффектов. Между тем, если заострить проблему и выяснить, действительно ли внедрение, например, медицинских методик диагностики здоровья космонавтов окупит соответствующий раздел лунной программы, то ответ будет отрицательным. Тогда почему десяток стран вкладывают бюджетные средства в долговременную программу освоения Луны? Ответ на этот вопрос в общем виде известен управленцам, которые прогнозируют долговременные экономические перспективы.

В популярном виде эту проблему анализирует Э. Райперт в экономическом бестселлере «Как богатые страны стали богатыми, и почему бедные страны остаются бедными» [2]. Резюме его логики, которая базируется в том числе на положениях эволюционной экономической теории Й. Шумпеттера [3] и работах К. Перес (в частности [4]), сводится к следующему. Богатство

развитых стран обусловлено тем, что длительное время (десятилетиями и веками) правящая элита основывала, субсидировала и защищала динамические отрасли промышленности и услуг, т. е. производственные структуры в областях, где был сконцентрирован технологический прогресс. Значит, экономический рост связывался с определенными видами экономической деятельности, в которых может возникнуть совместный продукт разделения труда, растущей отдачей (уменьшение издержек производства), синергией (люди разных профессий работают совместно) и новыми знаниями. Возникновение такого продукта обусловлено главной движущей силой экономического роста — инновациями и изобретениями, которые создают спрос на инвестиционный капитал. В определенные моменты крупные инновационные волны нарушают однородность технологического развития и создают технологические прорывы (их называют сменой технико-экономической парадигмы). В табл. 4.1 приведена схема таких прорывов в истории человечества из работы [2], в которой современный этап связывается с информационно-коммуникационными технологиями и космосом. Важно отметить, что смена парадигмы приводит не только к взрывообразному увеличению производительности труда, но и изменению самого общества в этой области, которую называют экономикой. Может измениться расстановка сил в мире, политический строй, качество жизни граждан, отношение к общественным институтам.

Таблица 4.1. Технико-экономические парадигмы в истории человечества [2]

Период, годы	Название периода	Важные отрасли	Недорогой ресурс	Инфраструктура
1770—1840	Ранняя механизация	Ткани. Шерсть	Водная энергия. Хлопок	Каналы. Дороги
1830—1890	Паровые двигатели и железные дороги	Железо. Транспортные перевозки	Пар. Уголь	Железные дороги. Пароходы
1880—1940	Электричество и тяжелая промышленность	Электрические машины. Химическая промышленность	Электричество. Сталь	Корабли. Дороги
1930—1990	Массовое производство (фордизм)	Автомобили. Синтетические материалы	Нефть	Дороги, самолеты, кабельные линии
1990	Информация и коммуникации	Цифровые технологии/компьютерные программы. Биотехнологии	Микроэлектроника	Цифровая связь. Спутники

Из фундаментального положения о том, что в основе успешного экономического развития лежат инновации и технологический прогресс в определенных отраслях, следует вопрос о выборе экономической стратегии. Вернемся к логике Э. Райперта. Если племя, живущее за рекой, перешло из каменного в бронзовый век, то перед племенем стоит вопрос: придерживаться достигнутого преимущества в каменном веке или перенимать опыт соседей и переходить в бронзовый век? Успешной стратегией, как показывает опыт, оказалось заимствование (Э. Райперт применяет термин «эмуляция») прогрессивной системы с целью сравняться с ней или превзойти ее. Напомним в связи с этим одно из базовых положений космической политики ЕС, которое состоит в создании условий для успеха в технологической гонке с США.

От понимания общих тенденций до выработки собственной стратегии — дистанция огромного размера, тем более, что собственного опыта у Украины практически нет. Тем не менее, некоторые соображения и выводы из анализа экономики КД других стран могут оказаться небесполезными. Остановимся кратко на тех, которые автору кажутся релевантными.

4.2. Некоторые экономические характеристики современной космической деятельности

Космическую экономику документ Международной организации экономического развития OECD определяет «как всю деятельность (включая использование ресурсов), которая связана с созданием и обеспечением экономических ценностей и выгод для людей в процессе изучения и использования космоса». К космической экономике относятся «все государственные и частные субъекты, участвующие в разработке и использовании связанных с космосом продуктов и услуг, начиная с исследований и разработок, создания и использования космической техники (наземная инфраструктура, ракеты-носители и КА) и заканчивая прикладными средствами (навигационное и телекоммуникационное оборудование, метеорологические средства и т. д.), а также научными знаниями, полученными в результате такой деятельности» [5].

Такое определение означает, что космическая экономика выходит за рамки собственно космического сектора как вида деятельности, поскольку она обладает системным свойством воздействовать на экономику и общество в целом. Поэтому оценка экономических характеристик КД существенно различается в

разных источниках в зависимости от того, какие «околокосмические» сферы включаются в рассмотрение. Еще одна трудность учета собственно космической продукции и услуг состоит в том, что многие компании создают продукцию, которая используется в различных приложениях (например, в электронике), и выделить в ней собственно «космическую» составляющую проблематично. Этот разброс существенен, однако мало влияет на задачи нашего рассмотрения и последующие выводы. Поэтому ниже приведены несколько характерных цифр из наиболее цитируемых источников [5—9].

Состояние космического сектора экономики отслеживается несколькими организациями (Space Foundation [8], OECD [5, 7]), которые периодически публикуют общедоступные отчеты. Наиболее детальный анализ публикует фирма EUROCONSULT [9], а также международные и национальные исследовательские организации (в частности, Институт космической политики ESPI [10, 11], Лондонская школа экономики [12]).

В 2017 году глобальный объем космической экономики превысил сумму \$348 млрд (по данным Satellite Industry Association (SIA), цит. по [13]), в 2016 г. — \$329 млрд (по данным Space Foundation [8, 14]), причем последние десять лет увеличивается устойчивыми темпами в среднем до 7 % в год.

Всего в космическую деятельность по данным [15] с начала космической эры по 1995 год инвестировано \$100 млрд, в следующие 3 года — до \$150 млрд. В то же время в 2013—2016 годах темпы роста существенно упали: в 2013 году — \$256 млрд, в 2015 году — \$323 млрд, в 2016 — \$329 млрд [13]. Коммерческий сектор в последние годы составлял до 3/4 космического рынка (76 % или 253 млрд в 2016 году). Постоянный рост демонстрируют индексы экономического развития [8] (само существование таких индексов свидетельствует об экономической значимости космической индустрии).

Наибольший вклад в глобальную космическую экономику вносит США — правительственные расходы в 2016 году составили 44 млрд на военные и гражданские программы (порядка 0,3 % ВВП) (рис. 4.1, 4.2).

Согласно данным исследования «Евроконсалт» [9], космические программы реализуют около 40 стран; более 80 государств имеют собственные спутники на орбите. В период 2006—2016 годов появилось 25 государств, активно использующих космические технологии (закупки для потребностей собственной экономики спутников дистанционного зондирования Земли и связи).

4.2. Некоторые экономические характеристики современной КД

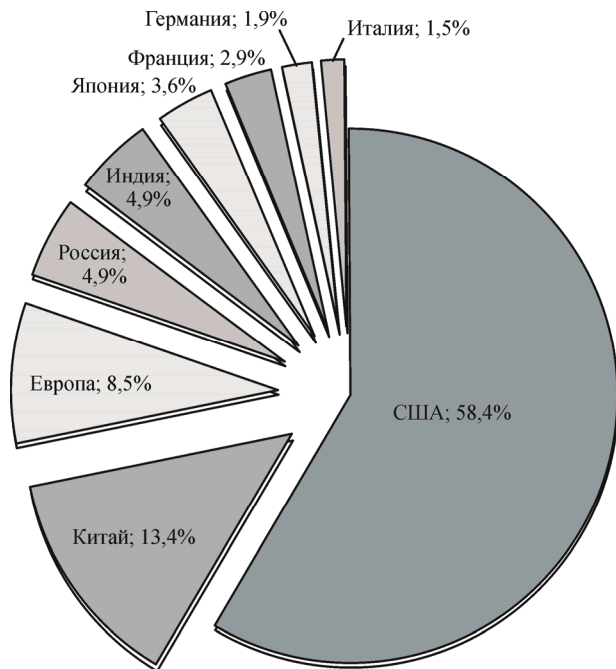


Рис. 4.1. Доли стран и регионов в общем объеме космического бюджета (2016—2017 годы) [14]

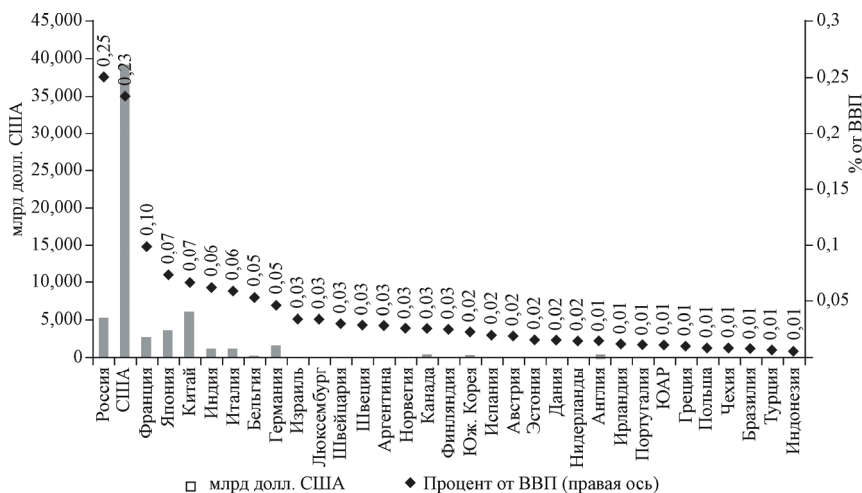


Рис. 4.2. Космический бюджет и его доля в ВВП разных стран, 2013 год [6]

Прогнозируется рост количества таких стран-потребителей до 45 в 2025 году. Правительственные расходы на мирное освоение космоса в 2017 году составили \$14,6 млрд, что на 6 % больше по сравнению с 2016 годом. 15 ведущих космических программ обеспечивают эти инвестиции, причем 74% от общей суммы вносит правительство США. К 2027 году эти расходы прогнозируются в объеме более чем \$20 млрд [7, 9].

По основным секторам общий объем производства в космической сфере в 2013 году распределялся таким образом:

- производство космической техники (включая пусковые услуги) — 33 % (\$85 млрд);
- услуги потребителям 58 % (\$150 млрд);
- услуги операторов космических систем 13 % (\$21,6 млрд).

В 2013 году в космической отрасли всего мира работало до 900 тыс. сотрудников.

Современный международный космический рынок хорошо развит и структурирован. На нем сформировалось несколько ключевых сегментов, среди которых отметим следующие:

- высокобюджетные государственные программы военного использования космоса, пилотируемые полеты и сложившийся институт научных и подрядных организаций;
- быстро растущая индустрия спутников гражданского и двойного назначения, прежде всего, в области широкополосного вещания, навигации и дистанционного зондирования (свыше 75 % рынка);
- финансовые услуги по страхованию имущества, космических рисков и личного страхования участников (перспектива этого сектора оценивается экспертами в сумму до \$30 млрд [16]).

Перспективным обещает быть производство многократно используемых ракет-носителей различной грузоподъемности и новые решения по доставке и возвращению грузов.

Несмотря на устойчивые темпы роста, значимость космической экономики по сравнению с ведущими отраслями (электроника, металлургия, биотехнологии, машиностроение) пока невелика. Так, объемы реализации продукции авиационной отрасли в 2018 году составляют не менее \$1 трлн [13]. Однако при условии стабильных темпов роста космической экономики можно прогнозировать ее заметный вклад в мировую экономику уже через 15—20 лет. Оптимистические прогнозы нескольких аналитических центров предсказывают такие сценарии. В рамках медианного прогноза банковского холдинга Morgan Stanley к 2040 году совокупные среднегодовые темпы роста должны утроиться, а объем космической экономики превысит \$1,1 трлн [17].

В свою очередь, по оценке инвестиционного банка Bank of America Merrill Lynch и United Launch Alliance освоение космического пространства между Землей и Луной, включая добычу полезных ископаемых, производство компонентов топлива для криогенных ракетных двигателей, экспорт сырья с поверхности Луны, развертывание постоянной колонии до 1000 человек и организацию крупномасштабного производства, способно довести объемы космической экономики к 2045 году до \$2,7 трлн [18].

Эти оптимистические прогнозы основаны на сценариях быстрого роста новых направлений космической гонки. Менее оптимистическая оценка перспектив роста космической экономики учитывает то обстоятельство, что на сегодня доля финансирования от общего оборота отрасли, направляемая на исследования и разработки (рис. 4.3), в космическом секторе существенно ниже, чем аналогичные показатели в других высокотехнологичных отраслях (в частности, биотехнологии) [13]. Поэтому в ближайшие два десятилетия рост продукции и сервисов связывается не столько с новыми космическими технологиями (такими как двигателестроение), сколько с новыми разработками, заимствованными из других сфер (например, нанотехнологии).

Кроме того, скепсис по поводу оптимистических оценок лежит в плоскости простых оценок спроса на услуги космической индустрии. Так, в настоящее время на орбите находится порядка 1400 спутников различного назначения. Вызывает сомнение, что в обозримом будущем возникнет потребность утроить этот показатель [13].

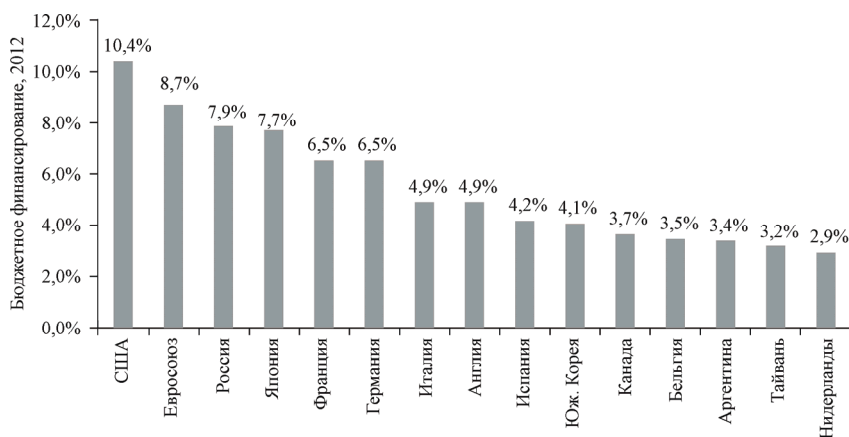


Рис. 4.3. Государственное финансирование НИОКР по космической тематике разными странами (в % от общего бюджета НИОКР, 2012 год) [12]

Общий рост показателей критически зависит от темпов коммерциализации космической деятельности. По мнению автора обзора [16], в ближайшие годы рост бюджетных вложений в космическую экономику может удвоиться, в то же время, их доля в общих расходах не превысит 20 %. Автор работы [16] считает, что в настоящее время закончилась четвертая волна подъема космической деятельности, обусловленная возросшим спросом гражданского и военного секторов на информационные услуги, в частности GPS. Следующая, пятая, волна, очевидно, будет вызвана возрастающим спросом, в основном, в негосударственном сегменте на услуги телекоммуникаций, навигации и наблюдения Земли.

4.3. «Новый космос» и инновационный потенциал космической деятельности

Приблизительно с 2000 года наблюдается знаковое явление в глобальной космической экономике — расходы частного сектора превысили государственные расходы. В настоящее время рост космической индустрии определяется, главным образом, коммерческим сектором, который имеет оборот вдвое больше государственного. Этот эффект характерен прежде всего для США, где быстрыми темпами развиваются спутниковое телевидение, интернет-сервисы и некоторые другие услуги, которые продаются все большему числу рядовых потребителей.

Согласно Директиве президента США Б. Обамы коммерческий сектор КД — это «...космические товары, услуги или прочая деятельность предприятий частного сектора, который несет весомую часть инвестиционного риска, действует с использованием типичных рыночных стимулов для контроля затрат и оптимизации отдачи от инвестиций и имеет правоспособность предлагать эти товары или услуги существующим или потенциальным неправительственным клиентам» (цит. по [16]).

Если рассматривать космическую экономику с точки зрения системы национальных компаний-лидеров в коммерческом секторе, то картина сильно отличается от той, которая приведена на диаграмме (см. рис. 4.1). США в этом рейтинге сохраняют свое место лидера, но дальше картина изменяется: в первую пятерку входят Франция, Великобритания, Япония и Германия, Китай оказывается на 10-м месте, а Россия выпадает из списка. Это происходит потому, что сегодня бюджетные расходы формируют лишь четвертую часть рынка. Разница между «старым» и «новым» космосом обретает зримые черты.

С точки зрения структуры инвестиций «старый космос» — это космическая индустрия, в которой доминируют государственные агентства и бюджетные средства, а «новый космос» — бизнес, обращенный к потребностям потребителей, в котором приоритетом является снижение цен и выпуск товаров и услуг в предпринимательском духе. В ходе конференции по проблемам «нового космоса» (июнь 2018 года) [13] состоялась дискуссия о том, какая сфера станет определяющей в развитии космической экономики. Один из сценариев предполагает основным движущим фактором коммерческие полеты в космос. Другой — увеличение прикладных услуг, таких как дистанционное зондирование. И хотя сейчас «новый космос» представляется как не во всем понятный мир, заполненный, в частности, неожиданными технологическими стартапами, его будущее, несомненно, повлияет на облик КД в ближайшие годы.

Его основу составляют три крупные сферы: 1) коммерческие заказы на создание и запуски спутников (включая поддержание инфраструктуры); 2) предоставляемые на коммерческой основе услуги операторов спутниковой связи и мониторинга, а также связанные с ними пользовательские сервисы и приложения; 3) услуги и оборудование спутниковой навигации. Капиталоемкость и сложность проектов обуславливают высокий уровень консолидации коммерческого космического сектора, где действуют крупные вертикально интегрированные корпорации, как правило, транснациональные. Так, на компании первой четверки рынка фиксированной спутниковой связи (Intelsat, SES Global, Eutelsat и Telesat) приходится свыше 40 % оборота данной отрасли (цит. по [19]). А в секторе коммерческих космических снимков не менее трети составляет доля лидера рынка — американской компании DigitalGlobe. При этом, если на более ранних этапах развитие новых космических компаний поддерживалось преимущественно за счет отдельных частных инвесторов (как в случае с компаниями Blue Origin или SpaceX) и государственных грантов, то в последнее время все бóльшую роль начинают играть венчурные фонды. В 2011—2015 годах на их долю пришлось свыше трети вложений (\$2,3 млрд). Для сравнения, за тот же период гранты и инвестиции составили \$328 млн. Только за 2015 год был привлечен рекордный объем средств — \$1,8 млрд, что сопоставимо с инвестициями в сектор медицинской техники, входящей в число 10 наиболее привлекательных отраслей для венчурных инвесторов (\$2,6 млрд в 2014 году) [19].

Проблему коммерциализации КД едва ли справедливо рассматривать как постепенную замену «старого» космоса «новым». Существует расхожее сравнение современной космонавтики с авиацией начала 20-го столетия: приход частного капитала в организацию почтовых, а затем и пассажирских перевозок ознаменовал рождение новой отрасли экономики. В космонавтике по многим признакам этот процесс более сложный и противоречивый, с серьезными ограничениями, причем ключевую роль играет государственная политика. Упомянем знаковые государственные решения, решающим образом стимулировавшие коммерческий космос. Отказ правительства США от избранной доступности сигналов GPS (действовал до 2000 года) резко увеличил количество коммерческих пользователей (приблизительное соотношение коммерческих и военных пользователей быстро оказалось 100 : 1). В 2015 году ЕКА начало проводить политику бесплатного предоставления данных дистанционного зондирования спутников Santinel; в результате резко возросли доходы компаний (и отчисления в бюджет), предоставляющих на основе этих данных информационные услуги конечным пользователям. Современные тренды коммерциализации КД во многом объясняются тем, что коммерциализация оказалась выгодной США, так как их роль на мировых космических рынках стала доминирующей. Очевидно, в ближайшее время такой механизм коммерциализации, когда государства передают разработанные за бюджетные средства технологии в коммерческий сектор, будет превалировать.

Политика коммерциализации космической экономики встречает вполне объяснимые трудности. Основные риски развития космической экономики хорошо известны: высокий уровень начальных капитальных вложений в объекты наземной инфраструктуры и производства, низкая или нулевая доходность большинства проектов, риски безвозвратной потери созданных объектов и некоторые другие. Существуют и чисто технологические ограничения развития коммерческой КД. Приведем некоторые из них, используя мнения разных экспертов. Во-первых, существующие в мире мощности позволяют обеспечить до 140 пусков в год, а потребности на сегодня — почти в 2 раза меньше. Во-вторых, отмечается критическая плотность низких орбит: их дальнейшее насыщение может превысить естественное очищение вследствие сгорания в атмосфере. В-третьих, как только космические технологии стали использоваться в интересах широкого круга потребителей, в игру вступила конкуренция. Так, в области телекоммуникаций в 1980-е годы спутники обеспечивали в 10 раз

большой объем трафика по цене 0,1 от стоимости подводного кабеля; с 2003 года оптико-волоконный кабель дает такую же емкость, как и спутник. В области ДЗЗ использование GPS сделало доступным аэронаблюдения, поэтому спрос на информацию ДЗЗ оценивается гораздо ниже, чем ранее. В целом, если сравнить оценки коммерческих секторов 2006 и 2017 годов по данным Спейс Фаундейшн [6], можно обнаружить существенное (в разы) превышение ожидавшихся объемов инвестиций и фактически реализованных. В этот список можно добавить неудачную программу коммерциализации работ на Международной космической станции и нереалистичность планов передачи МКС для коммерческого использования после 2020 года.

Однако, судя по некоторым тенденциям (особенно в США), потенциальные инвестиционные возможности космической экономики сегодня начинают превышать указанные риски. Например, за период 2000—2017 годов в космические стартапы было инвестировано более \$16 млрд, причем 2/3 этой суммы — за последние 5 лет. В 2016 году в Соединенном Королевстве была создана первая частная венчурная группа фондов Seraphim Capital, которая инвестирует исключительно в проекты по развитию космической экосистемы [20].

Обобщая итоги развития коммерческого космического сектора в период 2006—2015 годы, в [19] отмечается, что в целом он характеризуется стабильной конъюнктурой и перспективами роста. Space Foundation [6] прогнозирует удвоение его объема и дальнейшее увеличение доли к 2024 году — до \$516 млрд и 86 %. В то же время, несмотря на общий восходящий тренд, динамика по отдельным направлениям неравномерна. Базовой отраслью являются системы фиксированной и подвижной спутниковой связи — в 2016 году на них приходилась половина от состава действующей мировой орбитальной группировки, причем более 2/3 от этого числа принадлежит коммерческим операторам [19].

Критическое значение для прихода частного капитала в космическую деятельность имеет стоимость вывода полезных грузов в космос. Ресурсы Солнечной системы войдут в сферу реальной экономики при обеспечении дешевого и надежного доступа в космос. В США группа экспертов выдвинула идею реализации такой инициативы — CRATS (Cheap & Reliable Access to Space). Они полагают, что путь создания и выполнения больших государственных программ, как и поддержание функционирования свободного рынка (*laissez-faire*), не решат этой проблемы. Предлагалось поддерживать не тематические направления деятельно-

сти, а промышленность, которая способна решить технологическую проблему: Solutions not Programs или Build an Industry, Not a Program. В качестве примера такой проблемы можно представить систему транспортных средств или аэрокосмического самолета.

Отметим, что проблема коммерциализации занимает одно из центральных мест в национальной космической политике США и Европы. Отмечается растущая вовлеченность бизнеса в исследования и разработки по государственным программам, а также рост объема передаваемых в частный сектор технологий. Эта стратегия позволяет повысить эффективность реализации проектов в прорывных, высокорисковых направлениях, а также, благодаря активизации обмена знаниями и ресурсами, способствует укреплению технологического потенциала и ускорению процесса создания двойных инноваций (с высоким коммерческим потенциалом). Реагируя на изменения внутренней среды мировой космической деятельности (технологические сдвиги, рост потенциала коммерческих игроков), концепция коммерциализации в США и Европе эволюционирует от вертикальной к более распределенной, горизонтальной, опирающейся на разветвленную сеть участников и объединяющей в себе все секторы: институциональный, промышленный и академический [19].

4.4. Прямое воздействие непрямых эффектов

Проблема повышения эффективности и развитие «нового космоса» не сводится к вовлечению частного капитала (известно, например, что финансирование космических проектов Э. Маска на 70 % обеспечивается бюджетом НАСА). Главный эффект развития частной инициативы в космических проектах — инновационное развитие космических технологий и применение в интересах всех возможных потребителей. Можно выделить три типа инноваций, оказывающих различное влияние на разные секторы экономики. Во-первых, инновации в космическом секторе, которые принципиально расширяют возможности космических средств. Наиболее характерный пример — разработка системы многоразового использования ступеней РН, снижающей в перспективе стоимость запуска на 10—15 %. Известны также некоторые организационные и управленческие решения (применение некосмических разработок, новые подходы к контролю качества). Во-вторых, существенное расширение возможностей существующих сфер деятельности (телекоммуникации, метеорология, астрономия

и астрофизика). В-третьих, появление принципиально новых технологий и методов (космическое наблюдение, навигация).

Основным фактором влияния космических инноваций на экономику в целом является трансфер технологий или, более широко, механизм spin-off, который в последнее время активно анализируется с точки зрения экономической эффективности космических программ. Об этом более подробно изложено в главе 7 (и литературных ссылках). Здесь кратко остановимся на механизмах воздействия spin-off на экономику. Этот термин часто понимается как технология, разработанная в рамках космических программ и используемая в некосмической деятельности. Распространение этой практики за счет продажи товаров и услуг, покупки лицензий, технической или научной документации составляет основу долгосрочного экономического воздействия космических программ. В более широком смысле термин spin-off отражает все способы, которыми продукция, полученная в ходе одной деятельности, в данном случае — космической программы, используется в другой сфере. То есть речь идет не только о передаче технологий; внедрение новых методов управления, изменение организационных структур, укрепление сотрудничества между фирмами, использование работы в космических приложениях в качестве маркетингового опыта, ноу-хау также следует рассматривать как эффекты spin-off.

Согласно подходу, развиваемому исследовательской группой В.Е.Т.А ([20, 21] и их последующие публикации), различают четыре категории эффектов: технологические, коммерческие, управленческие и эффекты рабочего фактора.

Технологические эффекты. Это классические spin-off, указанные выше. Фундаментальная, а тем более прикладная исследовательская работа, проводимая в рамках космических программ, порождает технологические инновации, ведущие к появлению новых поколений продуктов и подсистем, впоследствии используемых другими космическими программами и другими отраслями промышленности, в результате чего создаются новые продукты, приводящие к диверсификации деятельности и улучшению характеристик (качество, производительность) существующих продуктов.

Коммерческие эффекты, в основном, принимают форму увеличения продаж продуктов или услуг, которые не включают значительных технологических инноваций. Подрядчики космических агентств могут воспользоваться новыми рынками, которые открываются после космических программ, например, на нацио-

нальном уровне (такие как наземные станции управления). Кроме того, фирма приобретает новый имидж, связанный с космической деятельностью, который дает значительные конкурентные возможности. На коммерческом уровне программы ЕКА больше, чем другие программы, позволяют компаниям-подрядчикам налаживать более тесные деловые связи, которые затем распространяются на заказы вне рамок космических агентств.

Влияние на организацию и методы управления. Еще один важный вклад космических программ заключается в нововведениях в управленческих и производственных методах, контроле качества, организации производства и управления проектами. Эти нововведения обусловлены высокими стандартами, предъявляемыми спецификациями и характеристиками космического пространства (принцип нулевой ошибки во враждебной среде). Эти влияния также являются следствием особой формы промышленной кооперации, созданной для космических программ, объединяющей на разных уровнях ответственности фирмы, работающие в разных отраслях промышленности.

Квалификационные эффекты. Экономические эффекты, обусловленные программами ЕКА, в значительной степени связаны с персоналом. Космические подразделения представляют собой учебные полигоны для персонала и руководителей. Высокая квалификация и навыки, приобретенные в космических программах, часто используются в подразделениях компаний, не занимающихся непосредственно космической деятельностью. В некоторых фирмах космические программы стимулируют создание и развитие структурированных групп специалистов, ученых, инженеров и техников, которые составляют то, что можно назвать «критической массой» фирмы и использовать для разработки все более сложных систем для разных секторов промышленности.

В литературе можно встретить многочисленные примеры успешного использования космических разработок в различных отраслях и для разных категорий потребителей: штрих-коды для маркировки продуктов и кроссовки (разработаны в ходе программы АПОЛЛОН), тефлон, программируемые имплантируемые системы, контроллеры мощности двигателей, лазерные технологии управления процессами резки и сварки, лекарственные средства и многое другое. Существуют также управленческие и кадровые решения, которые внедрены в высокотехнологические отрасли промышленности (атомную энергетику, транспорт, нефтегазовую отрасль). На сайтах космических агентств и в документах космической политики такие разделы являются обязательными. Про-

ривные технологические решения находятся в центре промышленной политики тех стран, которые рассматривают космические программы как движущую силу развития экономики в целом. Такие программы в разные годы реализовывали США (TU NASA Program), с начала 2000-х годов иницируются ЕКА через пилотные проекты, поддерживаются во Франции (создание специализированной компании NOVESPACE) и некоторых других странах. Однако необходимо признать, что оценивание воздействия прямых и не прямых эффектов от космических проектов на экономику в целом далеко от достоверности. Из многих исследовательских работ по данной теме может сложиться впечатление, что экономическим оправданием космических программ являются не прямые воздействия — spin-offy. Или, что космический сектор рассматривается как единственный разработчик новых технологий, которые впоследствии используются в других отраслях экономики [16]. В действительности существенным оказывается и обратный процесс, когда космическая индустрия разрабатывает и совершенствует технологии, разработанные в других местах, — spin-in. Это свидетельствует о том, что эффективность космической отрасли следует рассматривать с точки зрения ее взаимодополняемости и интерактивности с другими секторами, а не с точки зрения воздействия, оправдывающего космические программы. Решение этой сложной проблемы видится в развитии современной эволюционной экономики (см. [3] и др.) и разработке адекватной модели инноваций, которая в современной экономике становится существенно нелинейной [21].

Известны несколько масштабных исследований экономической эффективности больших космических проектов, проведенных разными группами исследователей. Одному из них посвящена упоминавшаяся выше работа группы В.Е.Т.А [20]. В ней на основе детальных интервью с менеджерами разных рангов определялись эффекты от больших проектов ЕКА (при этом, насколько можно понять из описанной методики, не разделялись прямые и не прямые эффекты). Установлена существенная экономическая выгода при рассмотрении эффектов в течение длительного времени после их окончания. Часто цитируется результат исследования программ НАСА в течение 1950—1969 годов, согласно которому к 1987 году 1 вложенный доллар дал 7 долларов увеличения ВВП США. Прогнозная эффективность европейской программы наблюдения Земли COPERNICUS (исследование выполнено по заказу Еврокомиссии ([1], глава 7)) оказалась в интервале значений эффективности (отношения доходов к рас-

ходам) от 1,9 до 5,4, в зависимости от закладываемых условий состояния экономики. Эти и некоторые другие положительные оценки эффективности космических программ характерны для США (в большей степени) и Европы, где развиты аэрокосмический сектор и трансфер технологий вследствие кооперационных связей. Для других космических держав эффект трансфера технологий заведомо меньший, поэтому представляет интерес подробнее рассмотреть их экономическую мотивацию и особенности эволюции космических программ.

4.5. Космическая экономика и государственная политика: примеры некоторых стран

Приведем несколько кратких характеристик космической экономики стран, которые имеют средний уровень оборота космической отрасли (в пределах 1 % ВВП) (рис. 4.2) (исключение составляет Индия, которая активно наращивает космический потенциал (0,06 % ВВП), но по большинству показателей к космическим грандам не относится). Эти страны не стремятся к глобальному доминированию, а экономическая отдача для них является безусловным приоритетом. При выработке собственной стратегии эти страны представляют для нас большой интерес с точки зрения различных стартовых условий и избранных стратегий космической деятельности.

Индия

Страна, у которой четверть населения живет ниже официального уровня бедности, быстро входит в число главных игроков на космических рынках. Правительство определило космос основным двигателем национального развития (наряду с ИКТ) в начале 60-х годов прошлого столетия, и эта политика последовательно воплощается космическим агентством ISRO. С того времени бюджетные расходы на научные исследования, и космос в частности, непрерывно возрастают, а космическая индустрия становится существенной составляющей мировой космической экономики, в первую очередь, в спутникостроении. К 2018 году Индия имела группировку из 10 спутников наблюдения Земли, 9 телекоммуникационных, одного метеорологического и одного научного аппаратов. Космические программы рассчитаны на 3, 5 и 15 лет и предусматривают последовательное развитие всех сегментов космической индустрии: дистанционное наблюдение Земли, навигация, метеорология, телекоммуникации и средства выведения. Однако характерной чертой является приоритетность

научных программ. Серьезным успехом была первая лунная миссия Chandrayaan-1 (2008 год), за которой готовится (2019 год) второй аппарат Chandrayaan-2. Беспрецедентным успехом стала первая марсианская попытка в 2013 году (Mars Orbiter Mission, MOM). Запланирована масштабная миссия по изучению Солнца Aditya-L1, а на 2022 год намечен первый пилотируемый полет, стоимость которого оценивается в \$2 млрд.

Таким образом, Индия развивает космическую экономику и выходит на международные рынки, осуществляя технологическое обновление в рамках собственных долгосрочных исследовательских и прикладных проектов. Главным инвестором выступает государство, в то же время проводится политика привлечения иностранного капитала (квоты на его привлечение постоянно повышаются и составляют до 50 % в космической отрасли и 75 % при создании спутников). Более 60 % бюджета космических программ направляется в виде заказа промышленным предприятиям. Постоянно растущие расходы на исследования (около 1 % ВВП) привели к серьезному снижению применения импортных комплектующих (с 30 до 20 % за последнее десятилетие).

Результаты этой политики имеют очевидные экономические последствия. На протяжении последних 10 лет объем продаж аэрокосмической отрасли растет темпами, опережающими рост промышленности страны в целом; рост экспорта аэрокосмической техники — с \$80 млн до \$2,3 млрд, а выручка двух крупнейших компании Hindustan Aeronautics Ltd. (HAL) и Bharat Electronics Ltd. (BEL) увеличилась в 2,5 раза. Аналитики отмечают высокую эффективность спутниковых технологий и относительно низкую цену пусковых услуг. К 2017 году Индия реализовала пуски более 50 КА для 20 стран, рекордные запуски одновременно 20 КА в 2016 году и 104 КА в 2017; в режиме полной эксплуатации с 2016 года используется тяжелый носитель GSLV (Geosynchronous Satellite Launch Vehicle).

Индия демонстрирует уникальную траекторию развития, которая страну третьего мира выводит в лидеры космонавтики. Хотя объемы космической отрасли сегодня значительно ниже, чем у стран-гигантов (в том числе Китая), Индия находится на пути овладения существенной частью мирового космического рынка. Судя по структуре отрасли, где основную роль играют государственные предприятия, а доля частного сектора невелика (точные данные недоступны), экономическая отдача определяется такими эффектами как развитие инфраструктуры и производственных мощностей, привлечение инвестиций, увеличение доли рабочих

мест, рост инновационных технологий. При этом доходы бюджета не могут покрываться поступлениями от растущего, но небольшого экспорта. Трудно представить, какую экономическую отдачу даст запланированный пилотируемый полет стоимостью порядка \$2 млрд. Если обратиться к обсуждавшейся в главе 4 (см. 4.1) стратегии успешного экономического развития, основанного на инновациях и изобретениях, то Индия представляется ярким воплощением стратегии «эмуляции» или копирования пути, который прошли более развитые страны. Иными словами, бедная страна вкладывает огромные средства в отрасль, которая не дает немедленной экономической отдачи, однако создает технологические и инновационные условия для последующего скачка.

Использована статистическая информация из источников:

- <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 обращения 16.10.2018)

Великобритания

Бывшая метрополия демонстрирует абсолютно иной подход к космической стратегии, направленной на максимальную экономическую отдачу в кратчайшее время. «Наша новая национальная стратегия нацелена на то, чтобы извлекать из космоса максимум: исследовать уникальные возможности роста, которые могут принести космические полеты и связанные с ними научные программы», — заявил Дэвид Парк (David Parke), исполнительный директор космического агентства Соединенного королевства UKSA. Следует отметить, что политические или престижные соображения не играют определяющей роли, а главным стимулом активного участия Великобритании (как большинства европейских стран) в исследовании и использовании космоса является возможность для своей промышленности стать конкурентоспособной относительно американской, причем не только в области ракетно-космической промышленности, а и в важнейших отраслях (электроника, оптика, ИКТ, конструкционные материалы, химия и т. д.), для которых космонавтика служит мощным локомотивом.

Хотя Великобритания одной из первых, вслед за СССР и США, запустила искусственный спутник Земли, в дальнейшем она практически не развивала ракетно-космические технологии (не считая легкой ракеты Black Arrow, которая использовалась в 4 пусках, из которых только 2 были успешными). Правительство не проявляло большого интереса к пилотируемой космонавтике (только два британца летали в космос как частные лица), мас-

штабным научным миссиям (активно участвуя в проектах ЕКА на основе сотрудничества). Космическое агентство организовано только в 2010 году, а до того космическую деятельность координировал орган академического уровня — Британский национальный космический центр, BNCS. На момент создания UKSA космическая промышленность Великобритании оценивалась в 7 млрд £ и имела 60 000 рабочих мест. В 20-летний план UKSA входит увеличение объема до 40 млрд и 100 000 рабочих мест, а также увеличение доли в мировой промышленности с 6 до 10 %.

Нынешняя структура космической экономики (более 11 млрд £ общего оборота) вполне определенно отражает обозначенные приоритеты стратегии: 78 % оборота отрасли составляют приложения (в основном телевидение — 61 %, 20 % — коммуникации), 12 % — космические операции и 8 % — изготовление космической техники (в основном изготовление КА — 60 %). При этом общий оборот отрасли непрерывно возрастает с 1990 года (рис. 4.4) со среднегодовым значением 8,8 %.

В общем объеме мировой космической экономики британский вклад составлял около 8 % в 2013 году, прогноз на ближайшие годы предвещал увеличение этой цифры до 10 %. При этом космическая продукция составляет 0,33 % от общего оборота британской экономики. Более 31 % от оборота — экспорт, что вдвое превышает средний показатель по экономике страны. Инвестиции государства в космическую индустрию порядка 300—400 млн £ (0,015 % ВВП) ежегодно и предназначены, в основном, для выполнения международных (ЕКА, ЕвМетсат) и национальной программ (рис. 4.5).

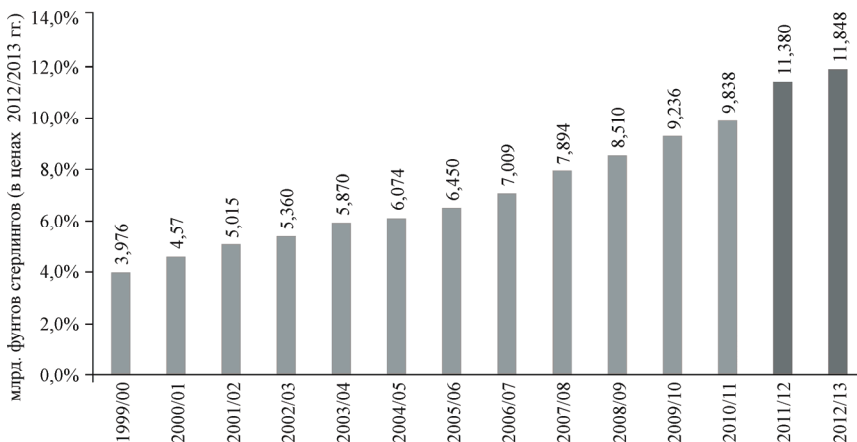


Рис. 4.4. Оборот космической экономики Великобритании, 1999/00—2012/13 годы

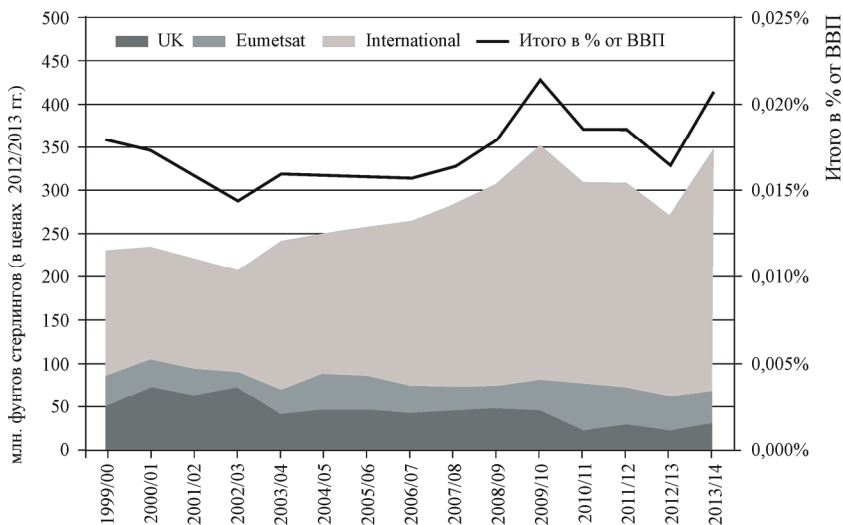


Рис. 4.5. Инвестиции правительства Великобритании в космическую деятельность с 1999 по 2013—2014 гг.

Символом технологического успеха британской космической отрасли стал прогресс компании SSTL (Surrey Satellite Technology Limited), которая из университетской лаборатории (1985 год) превратилась в мирового лидера в изготовлении малых спутников (40 % мирового объема экспорта) и различного оборудования для телекоммуникационных и навигационных миссий. С 2000 года объем продаж неуклонно растет (20 % в год), а ее деятельность не зависит от государственного бюджета. В целом вклад космической индустрии в ВВП страны составляет 45 % от оборота отрасли (порядка 5 млрд £), а не прямые эффекты как на национальном уровне, так и для групп заинтересованных пользователей высоко оцениваются аналитиками [12].

Британская модель космической экономики демонстрирует наивысшую экономическую эффективность при сравнительно небольших государственных расходах. При этом обеспечивается высокий уровень научных исследований (физика микрогравитации, науки о жизни, астрофизика, планетология) и инженерных разработок для проектов национальной программы и европейских космических миссий.

Использована справочная информация из источников

- <http://epizodsspace.airbase.ru/bibl/znan/1978/8/8-goldovs.html>
- <https://ecorospace.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 обращения 16.10.2018)

Израиль

Развитие израильского космического сектора дает уникальный опыт перехода от узкоориентированной программы (обеспечения безопасности) к формированию полномасштабной космической деятельности. Сегодня Израиль является одной из семи стран, которые создают собственные спутники (связи «Амос», разведывательные «Офек», детального наблюдения EROS и др.) и способны их запускать (трехступенчатая твердотопливная ракета-носитель «Шавит», запускалась с 1988 по 2016 годы десять раз).

Космическая программа Израиля была начата в ответ на потребности национальной безопасности и характеризуется триединой целью: 1) развитие и поддержание самодостаточности ключевых технологий и приложений, важных для стратегических потребностей; 2) защита оборонных средств и инфраструктуры; 3) обеспечение контроля космической среды. Учитывая ограниченность ресурсов, страна применила прагматичный подход к космической сфере, развивая ключевые высокоинтеллектуальные средства сдерживания, раннего предупреждения, разведки. Космическая программа использовала огромный опыт в создании и боевом применении ракетной техники: страна является одним из мировых лидеров, разрабатывая практически весь спектр ракетного оружия — от тактических ракет наземного, морского и воздушного базирования до баллистических ракет типа «Иерихон», способных нести боеголовки на расстоянии до семи с половиной тысяч километров. Именно они стали прообразом ракет-носителей израильских космических аппаратов.

С 1990-х годов Израиль обеспечил региональное доминирование в наиболее важных для собственной стратегии областях: наблюдение Земли (малые спутники, электронно-оптические средства высокого разрешения и радары с синтезированной апертурой), возможность запусков на низкие околоземные орбиты, а также связь. В области интеллектуальных технологий Израиль обладает большой автономией и не зависит от иностранных источников. Облик космической программы определяют высокотехнологичные разработки и микроминиатюризация всех систем, обеспечивающая приоритет качества космических средств над их количеством. Эта стратегия, обеспечившая превосходство над

противником в оборонной сфере, была положена в основу дальнейшего развития космических программ.

Серьезные достижения в области создания уникальных платформ для спутников массой 250—400 кг позволили стране выйти на международные рынки и существенно расширить тематику космических проектов, которые теперь включают фундаментальную науку и экологический мониторинг (последний пример — КА Venus, созданный совместно с французским космическим агентством CNES (2017 год), решает задачи экологического мониторинга и точного земледелия).

К 2018 году страна имеет 10 космических аппаратов на орбите и существенно расширяет спектр усилий в космической сфере, хотя не имеет навигационных или метеорологических систем и пилотируемых миссий. В 1990-х годах Израиль начал активную коммерциализацию своей космической деятельности. Развитие космической индустрии базируется на возможностях рынка высоких технологий и венчурного капитала Израиля, которые характеризуются низкой долей участия правительства. Огромную роль играют многонациональные высокотехнологические компании (в том числе Intel, Google, Apple и Microsoft), которые контролируют более 250 израильских исследовательских центров и имеют штат 24 000 сотрудников. С точки зрения инвестиционного климата в категории защиты прав инвесторов Израиль, по данным Всемирного банка, на пятом месте после США, Канады, Ирландии и перед Великобританией.

Продукция ВПК формирует от 3 до 10 % ВВП страны. Объем израильского экспорта вооружений и военной техники составляет более \$6,5 млрд в год — по разным оценкам в 2009—2013 годах в мировом рейтинге экспортеров вооружений Израиль занимал 4—10 места, ни разу не покинув первой десятки. Космический бюджет Израиля, выраженный в доле ВВП, является десятым по величине в мире.

В то же время в настоящее время Израиль стоит перед выбором. Чтобы использовать достижения высоких космических технологий для дальнейшего экономического роста, требуется существенно увеличить бюджетное финансирование отрасли (по данным руководителя космического агентства — с 70—85 млн шекелей в 2018 году до 300 млн шекелей). Специальная парламентская комиссия, созданная для изучения ситуации в космической сфере (2015 год), определила текущее состояние как кризис и выработала свои рекомендации. Таким образом, экономическая модель израильского космоса в ближайшее время будет существенно пересматриваться.

Использована статистическая информация из источников:

- 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_)
- Инновационная экосистема Израиля. Возможности российско-израильского сотрудничества (https://www.rvc.ru/upload/iblock/f51/201310_Israeli_RU.pdf)
- <http://ratner.biz/proizvedeniya/politicheskaya-istoriya/87-vsjo-svojo-voennaya-promyshlennost-izrailiya.html>
- Out of This World: Israel's Space Program (http://mfa.gov.il/MFA_Graphics/MFA%20Gallery/Israel60/ch7-6.pdf)

(дата обращения 16.10.2018)

Турция

Турция — одна из зарождающихся космических держав, которая претендует на создание мощного космического сектора экономики. Путь, который намерена пройти страна, качественно напоминает израильский, хотя Турция стартовала намного позднее. Намерения руководства стали очевидны после объявления премьер-министром Б. Йылдырымом в 2017 году о создании космического агентства, а также грядущих планах подготовки астронавтов для собственной космической станции (предварительная стоимость проекта — \$6 млрд). О серьезности планов говорят результаты космических усилий страны в предыдущие годы: запущены спутник наблюдения Земли среднего разрешения Göktürk-1 (2012 год, разрешение 2,5 м, вклад Турции составил 20 %), разведывательный аппарат Göktürk-2 (2016 год); в 2014 году завершено строительство космической базы, предназначенной для сборки и испытаний одновременно нескольких космических аппаратов; к 2020 году Турция рассчитывает закончить разработку и производство полностью отечественного спутника связи; ведется разработка спутника наблюдения с разрешением не менее 0,5 м; разрабатываются планы создания собственного стартового комплекса.

Турция резко наращивает потенциал своей аэрокосмической промышленности в стремлении стать глобальным игроком, имеющим технологическое превосходство в этом секторе. Один из примеров современных достижений — разработка крылатой ракеты класса «воздух-земля» для F-35 в сотрудничестве с Локхид Мартин. Идет работа по синхронизации трех направлений развития аэрокосмической сферы: создания национальной системы ПВО/ПРО, разработки ракет дальнего радиуса действия и

строительства первой в стране стартовой площадки для запуска искусственных спутников Земли.

Космическое агентство, которое находится под гражданским контролем, сосредоточено на сокращении зависимости от иностранных технологий и выработке собственной технологической политики в космической и авиационной областях. Оно также будет координировать работу по созданию космических платформ, пусковых установок и систем, разработке, интеграции, запуску и эксплуатации аэрокосмических систем. У турецкого космического агентства будет разрешение на создание компаний в стране или за рубежом, покупку акций существующих компаний или их приобретение.

По оценкам аналитиков в настоящее время Турция обладает 25 % мощностей, необходимых для разработки и производства собственной спутниковой системы, и планирует увеличить эту долю до 65 % в ближайшие годы. Руководство также стремится обеспечить разработку средств в интересах обороны, разведки и раннего предупреждения об угрозах из космоса. Таким образом, страна начала космическую деятельность исходя из интересов обороны, а затем реализует обширную космическую программу как инструмент экономического развития. В предшествующие годы (2005—2014) выполнялась Национальная программа космических исследований (NSRP), а также была разработана концепция (Space Vision) до 2023 года, в которой ставится задача обеспечить около \$5 млрд в глобальной космической экономике до 2023. За этот период будут обеспечены постоянное наращивание расходов на НИОКР (до 2% ВВП) и быстрый рост вложений в космические исследования, в частности, в развитие нескольких исследовательских центров: Научно-исследовательского института космических технологий (TÜBİTAK UZAY), Исследовательского центра космических технологий в Билкенте (BİLKENT BİLÜZAY), Лаборатории проектирования космических систем в İTÜ и некоторых других. Быстрый рост космического сектора сдерживается кадровыми чистками в среде специалистов ВВС и учебных учреждений (которые являются основой кадров космической отрасли) после введения президентской формы правления в 2017 году.

Общая тенденция развития турецкого космического сектора не может не отразиться на мировой космической экономике в долгосрочной перспективе.

Использована статистическая информация из следующих источников:

- <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. V. 130. P. 67–74.
- Aiming high: Turkey’s aerospace ambitions make progress (https://www.janes.com/images/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. V. 4, No. 2 (http://www.sobiad.org/ejournals/journal_ijegeg/arihieves/2012_2/duygu_halim.pdf)
- <https://topwar.ru/>
- <https://regnum.ru/news/1711657.html>
- http://www.xinhuanet.com/english/2017-11/15/c_136752633.htm ANKARA, Nov. 14 (Xinhua)

(дата обращения 16.10.2018)

Польша

Наш сосед — Польша активно развивает космический сектор, зафиксировав в национальной космической стратегии положение о его важной роли в росте экономики. Графики на рис. 4.6 и 4.7 демонстрируют опережающий рост расходов на исследования (космос занимает не менее 10 % расходов на исследования) по сравнению с ростом ВВП на душу населения. Этот интегральный показатель, как и стремление развивать космические технологии, явно свидетельствуют об избранной инновационной модели.

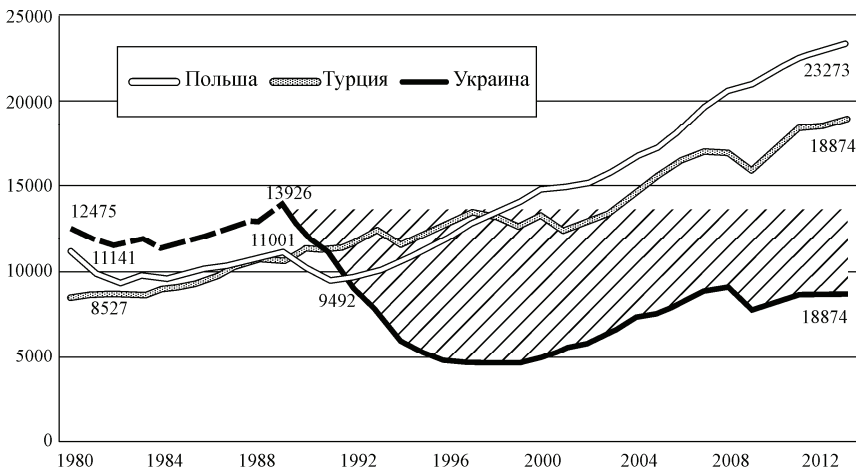


Рис. 4.6. Динамика ВВП на душу населения в Украине, Польше и Турции, постоянные цены 2013 года, \$ [23]

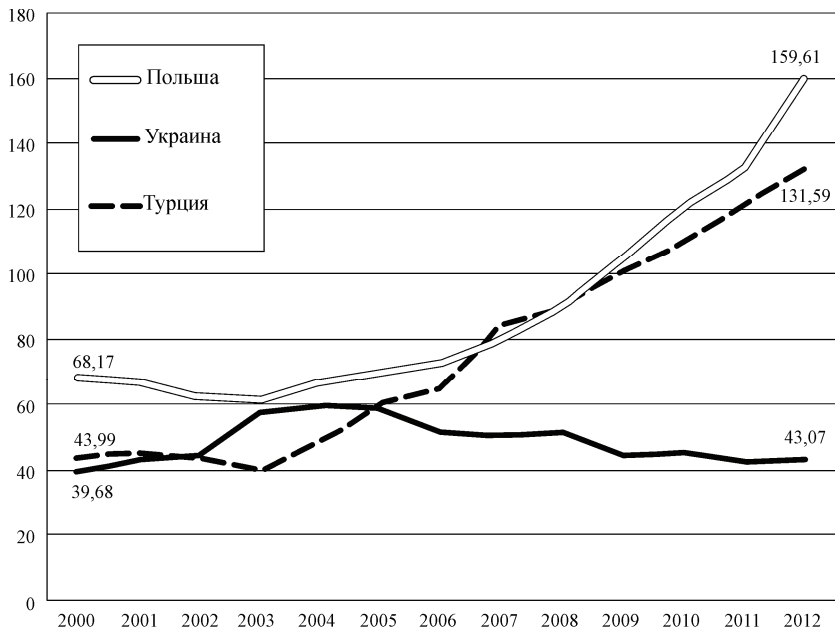


Рис. 4.7. Динамика расходов на НИОКР на душу населения в Украине, Польше, Турции, постоянные цены 2000 года, \$ [23]

Польский путь вхождения в космический клуб имеет специфический характер. Его особенностью является постепенное наращивание потенциала с ориентацией на европейские космические программы. До конца 1980-х годов в стране практически отсутствовала космическая промышленность, а основными исполнителями космических программ были Центр космических исследований (СВК, создан в 1976 году), Институт геодезии и картографии (специализируется на применении дистанционных данных). На протяжении последних 20—30 лет Польша постепенно наращивала собственный космический сектор, который приобрел уже большой опыт и имеет реальные достижения. Он состоит из нескольких научных центров, экспериментальных лабораторий в университетах, а также нескольких десятков малых и средних предприятий.

Новый этап развития польской космической деятельности связан с подготовкой и вступлением в ЕКА в 2012 году и принятием ряда правительственных и двусторонних документов («Программы действий в интересах развития космических технологий

и использования спутниковых систем в Польше»), созданием Межведомственной группы по делам космического пространства, а затем космического агентства (POLSA). В результате поляки смогли участвовать в научных программах ЕКА, включая флагманские миссии ЕКА (Cassini- Huygens, Integral, Марс- Express, Rosetta, Venus Express и Herschel). В рамках польско-канадско-австрийской программы Bright Target Explorer (BRITE) запущены два первых польских научных спутника, Lem и Heweliusz (масса до 10 кг, запуски состоялись в 2013 и 2014 годах).

В 2007—2013 годах ЕС выделил около 4,9 млрд евро на космические проекты, т. е. 700 млн евро ежегодно. При этом вклад Польши составляет около 3,2 % в общем космическом бюджете Евросоюза (около 22,4 млн евро ежегодно). В 2014—2020 годах ЕС планирует направить на космическую деятельность всего около 11,8 млрд евро, тогда как вклад Польши составит около 378 млн евро.

Процесс интеграции польского космического сектора в европейский предусматривал ряд последовательных мер. В 2007 году инициирована двусторонняя программа взаимодействия (PEKS), в ходе которой реализованы 45 проектов с участием польских предприятий (2009—2012 годы). С 2012 года действует переходная программа непосредственной поддержки польской промышленности (Polish Industry Incentive Scheme — PIIS). Ее главная задача — приспособление польской промышленности к заданиям и требованиям ЕКА.

В течение 2018 года была продолжена подготовка национальной космической программы, которая предусматривает выделение 1,43 млрд польских злотых (\$420 млн) на восьмилетний период. По плану POLSA программа позволит объединить польские организации космической отрасли с иностранными партнерами для разработки двух новых спутников (астрономического и SAR микроспутника), а также разработки новых технологий. Польские разработки должны быть существенной составляющей проектов (электроника, механика, системы управления, наземное и бортовое программное обеспечение), хотя европейские партнеры будут играть важную роль. Польша хочет увеличить свое участие в новых технологиях, используемых в космической отрасли; согласно проекту программы общий оборот в этой сфере должен составить до 7,5 млрд евро (32,5 млрд злотых), а темп роста предполагается до 4 % в год. Стоит отметить, что среди новых технологий разрабатываются и системы ракеты-носителя легкого класса.

Результатом отмеченных евроинтеграционных усилий стало существенное развитие польской космической индустрии; по официальной информации POLSA в стране более 300 компаний, желающих инвестировать в космические проекты, а около сорока организаций работают главным образом на космические проекты. Вместе с тем аналитики отмечают трудности вхождения польских организаций в крупные проекты ЕКА, что вызвало инициативу властей продолжить программу поддержки польской промышленности до 7 лет. Кроме того, страна устанавливает новые контакты, заключив соглашения по космосу с правительствами Франции, Италии, Китая, Мексики, Бразилии и Украины.

Использована статистическая информация:

- 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 publicznego 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 polskiego sektoru kosmicznego, PAK (<https://polsa.gov.pl/>)
(дата обращения 16.10.2018)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

*Если вам показалось,
что я выразился достаточно ясно,
вы неверно меня поняли.*

А. Гринспен

В первых четырех главах предпринята попытка краткого анализа современной космической деятельности с точки зрения ее видимых результатов и ближайших перспектив (Why Space?). Резюме этого анализа послужит основанием для дальнейшего обсуждения результатов собственной космической деятельности и путей построения стратегического управления. Выше упоминалось мнение некоторых аналитиков об изменении парадигмы космической деятельности; наш анализ не ставит цель подтвердить этот вывод или вызвать сомнения в нем. Перед нами стоит практическая задача: обозначить те важные внешние обстоятельства, которые мы обязаны учесть при разработке собственных планов.

1. Роль космической политики в современном мире по-прежнему в значительной степени определяется космической мощью — способностью использования ракетной техники, а также гражданских, разведывательных, коммерческих космических систем и инфраструктуры для поддержания стратегии национальной безопасности, достижения национальных целей. Возрастающая роль современных космических систем определяется их уникальными возможностями: высокой информативностью, разрешающей способностью, всепогодностью, а также способностью доведения информации до каждого субъекта управления. Развитие космических технологий трансформировало содержание геополитики, изменив приоритетность факторов, которые определяют безопасность и влияние государства; некоторые аналитики утверждают о переходе от геополитики к инфраструктурной политике.

2. Произошел очевидный сдвиг целеполагания космических программ, принципиальным образом ориентированных на запросы всех возможных потребителей. Именно поэтому в современных условиях не может быть собственно космических приоритетов, обусловленных исключительно логикой развития космонавтики. Из этого вытекает ключевой тезис современной космической политики, предполагающий подчиненность приоритетов космической деятельности основным национальным приоритетам (в экономике, безопасности, науке, образовании, повышении качества жизни граждан). Эффективность космических программ оценивается тем, насколько возрастет безопасность страны и региона, каков выигрыш от прогноза катастроф или оценки бедствий, как улучшились конкретные управленческие решения и т. д. Формирование технологической, научно-технической и кадровой политики жестко связано с возможностью космических технологий эффективно решать приоритетные государственные и общественные задачи. От этого зависит ответ на вопросы о масштабе и пропорциях развития новых систем, технологий и производственных мощностей в космической программе государства.

3. Экономическая роль в современной космической деятельности быстро изменяется. Судя по динамике развития, через 10—15 лет этот сектор будет одним из существенных в мировой экономике благодаря динамичному созданию новых рынков космических услуг. Экономическая роль космонавтики определяется объективными потребностями современного информационного общества, в котором приоритет переходит от преимущественно производства товаров к производству услуг, проведению исследований, повышению качества жизни, а внедрение инноваций зависит, в основном, от получения новых знаний. Известно, что эффективность инноваций определяется преимущественно двумя факторами: финансированием и уровнем решаемых задач. Космонавтика задает высочайшие требования к научно-техническим разработкам и, соответственно, определяет наивысшую эффективность инноваций. Именно с этим фактором связана революционизирующая роль космонавтики в развитии важнейших отраслей экономики. Существует около 40 ключевых макротехнологий, определяющих уровень экономики, а аэрокосмические технологии занимают первое место в этом списке. Именно их потребности дали старт радиолокации, созданию легких жаропрочных сплавов, композиционных материалов, вычислительной цифровой техники, систем управления, двигателестроению, навигационным системам. Появление сектора «нового космоса»,

ориентированного исключительно на рыночные механизмы, определяет облик будущей космической экономики.

4. Проблемы устойчивого развития и безопасности в современных условиях могут решаться только в контексте развития космических технологических систем. В настоящее время в рамках международных инициатив (GEOSS, COPERNICUS и некоторых других) решается проблема создания постоянно действующих космических систем глобального мониторинга. Характерная черта современного подхода — совместное использование космических навигационных, телекоммуникационных средств, а также данных наземных и космических наблюдений, что означает качественно новый уровень применения космических технологий в системах принятия управленческих решений.

5. Современная КД демонстрирует новые возможности международного сотрудничества, развивающегося параллельно с ужесточением конкуренции между партнерами. Помимо возрастающего числа участников современная КД демонстрирует новые организационные возможности. Одна из них — реализация метапроектов (надпроектов), которая характеризуется новой культурой взаимодействия большого количества участников: общая стратегия определяется как глобальными, так и национальными приоритетами, «встроенностью» в общую стратегию развития государств, ориентированностью на пользователя. Характерные примеры: Международная космическая станция, глобальная система систем наблюдения за Землей (GEOSS), перспективные программы освоения Луны и Марса (Deep Space Gate и последующие стадии). Глобальная проблема — происхождение жизни и судьбы цивилизации — требует координации не только собственно исследователей космоса, но и политиков, экономистов, менеджеров и инженеров. Обратим внимание на механизм принятия решений в рамках такого рода проектов. Концепция, разработанная специалистами космической отрасли, проходит апробацию у независимых экспертов, ученых и менеджеров, экономистов. Необходимое условие прохождения проекта — поддержка граждан (не менее 50 %), а также международных партнеров. Для стран, которым не по плечу собственные масштабные миссии, участие в таких метапроектах — это вопрос космической перспективы.

6. Принципиальная ориентация современных космических программ на научные исследования, а также освоение нового ресурса, каким является космическое пространство. Космическая наука в космической стратегии играет двойную роль. С одной

стороны, нет другой области научного знания, которая бы в такой же степени влияла на наше восприятие окружающего мира; происхождение Вселенной и человечества, закономерности коэволюции и, наконец, наша судьба могут познаваться только в контексте развития современной космической науки. Фундаментальные знания об окружающем нас пространстве становятся основой жизнедеятельности, обеспечения безопасности, освоения новых ресурсов, улучшения качества жизни и развития личности. С другой стороны, реализация космических исследовательских миссий ставит перед промышленностью задачи наивысшей сложности, способствуя росту инновационного потенциала космических предприятий. Поэтому космические программы большинства государств, даже ориентированных на прикладные или оборонные задачи, включают возрастающее со временем количество научных проектов.

И, наконец, отметим мощный потенциал космической деятельности как фактора развития научно-технического и интеллектуального уровня общества. Естественное стремление человека к познанию нового проявляется в воплощенных уникальных технических системах (МКС, телескоп Хаббла, ракеты-носители), которые наглядно демонстрируют национальную мощь и достижения человеческого разума. Этот фактор зачастую превышает запланированный экономический или научный эффект от космической миссии, поскольку отражает новый этап взаимоотношений человека и природного мира. Видимо по этой причине в большинстве космических программ среди приоритетных задач встречаем «*inspiration*» — вдохновение молодого поколения.

ЧАСТЬ II.

**О ПУТЯХ РАЗРАБОТКИ
СТРАТЕГИИ
КОСМИЧЕСКОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
УКРАИНЫ**

- О НЕКОТОРЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ
КОСМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
УКРАИНЫ
- О ВЫРАБОТКЕ СТРАТЕГИИ
КОСМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
- ОБ ОЦЕНИВАНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ
КОСМИЧЕСКИХ ПРОГРАММ

5

О НЕКОТОРЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ КОСМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УКРАИНЫ

*Недостаточно того, что мы делаем все, что можем,
иногда мы должны делать то, что требуется.*

У. Черчилль

5.1. Введение

Тему этой главы можно обозначить как краткий обзор выполненных программ и достигнутых результатов с точки зрения особенностей мировой космонавтики, рассмотренных в предыдущих главах. Большие и важные проблемы состояния отрасли — реформирование предприятий, системы менеджмента, технологического уровня, производственных мощностей, подготовки специалистов и другие характеристики космической индустрии вынесены за скобки. То есть в соответствии с продекларированной целью (Why Space?) попытаемся обрисовать, какой текущая космическая деятельность страны представляется внешнему наблюдателю и заинтересованному пользователю. Такая укрупненная картина необходима для дальнейших суждений об основах построения космической стратегии: для того, чтобы реализовать новое состояние КД, необходимо построить систему координат, которая описывает нынешнее ее состояние. Прежде всего, необходимо обозначить идеологические основания и приоритеты той деятельности, которая была развернута в Украине с момента организации Национального космического агентства Украины (НКАУ, 1992 год) и принятия первой Государственной космической программы (на 1993—1997 годы). Работа, инициированная под началом В. Горбулина и продолженная в течение 10 лет А. Негодой на посту руководителя космического агентства, была, безусловно, осмысленной и целенаправленной.

Очевидно, в начале работы НКАУ не существовало документа, который бы назывался «Стратегией» или «Планом системных мер», однако, судя по фактам, реализовывался продуманный сценарий организации КД Украины.

1. *Организация.* На базе унаследованных предприятий ВПК, отраслевых институтов, воинских частей началось формирование куста организаций, который во внутренних документах называли отраслью. Разумеется, создаваемая система не могла стать аналогом сегмента плановой социалистической экономики из-за упразднения централизованного распределения ресурсов и отсутствия государственного заказа, а НКАУ было наделено, в основном, полномочиями функционального управления. В то же время были заложены основы создания системы, ориентированной на выполнение общегосударственных задач и способной обеспечить цикл создания и эксплуатации космической техники. Следовательно, определение Украины как космической державы имело объективные основания не только технологического, но и организационного порядка: у страны была структура для создания ракетно-космической техники и запусков в космос КА разного назначения, эксплуатации их на орбите и использования получаемой информации.

2. *Законодательная база.* Закон о космической деятельности (1996 год) [1] и законодательно закрепленная Национальная (впоследствии Общегосударственная) космическая программа Украины (1998—2002, 2003—2007, 2008—2012, 2013—2017 годы) [2, 3] заложили основы национального космического законодательства, которое в то время было одним из лучших на пространстве СНГ [4]. Эта деятельность охватывала также анализ международного права и широкий круг проблем — от поддержки предприятий [5] и формирования новых структур [6] до закрепления основ структурной перестройки космической отрасли [7]. Заметим, что решения многих из подготовленных и принятых документов не удалось реализовать практически. В одном случае (Концепция структурной перестройки) выработанная идеология опередила свое время, а решительные меры в этом направлении до сих пор не предприняты. В другом, — Агентство совершило попытку охватить несвойственные ему полномочия, реализация которых оказалась нереалистичной (в первую очередь это касается проблем телекоммуникаций, навигационного обеспечения, контроля космического пространства) [8—10].

3. *Программы и проекты.* Одним из безусловных достижений начального этапа организации КД в Украине было иницирова-

ние Национальной космической программы, рассчитанной на 5 лет и утверждаемой как Закон Украины [1]. Первые программы были отчетливо ориентированы на сохранение потенциала отрасли, реализацию украинско-российских проектов как продолжение советской программы и постепенный переход к реализации собственных интересов. Последний пункт оказался наиболее сложным и не вполне реализованным до настоящего времени. В ходе первых программ была сформулирована принципиально плодотворная идея приоритетности задач космических наблюдений Земли (проект «Сич»).

Знаковым достижением следует считать реализацию коммерческих проектов «Морской старт» (его многие аналитики заслуженно считают лучшим в истории воплощением идеи инновационного использования прошлых разработок) и «Днепр» (лучший реализованный проект конверсии оборонных космических технологий). Всего в 1992—2016 годах 140 ракет-носителей отечественного производства осуществили запуск 370 космических аппаратов по заказу потребителей из 25 стран. Кроме того, были запущены 27 космических аппаратов различного назначения, разработанных ГП «КБ «Южное» и изготовленных на ГП «ПО «Южмаш». Вместе с проектом «Циклон-4» эти проекты должны были обеспечить поддержку технологического потенциала и производственных мощностей украинских предприятий. Трудная судьба этих проектов (которая в значительной степени связана с политическими и организационными причинами) не должна заслонять принципиально правильные научно-технологические основания этих работ.

Эти коммерческие проекты, а также успешное участие в европейском проекте «Вега» (с маршевым двигателем верхней ступени украинской разработки) и «Антарес» (конструкция первой ступени по заказу «Orbital-АТК», США) определяют облик современной космической индустрии Украины. Добавим, что ежегодно предприятия выполняли более 150 международных контрактов на сумму до 450 млн долларов. В то же время эти достижения, формально присутствующие в отчетности о выполнении космической программы, основаны на продвижении на рынок разработок прошлых лет и имеют небольшое отношение к современным космическим программам.

4. *Международное сотрудничество.* Конфигурация международного сотрудничества определялась стратегическим видением роли украинского ракетно-космического потенциала со стороны

западных и российского партнеров: выполнением требований об отказе от ядерного оружия и уничтожением соответствующей инфраструктуры, а также условиями режима РКРТ, особенно отсутствием контактов с государствами-изгоями. Кроме того, российская ориентация многих проектов определялась сложившейся кооперацией и рынками сбыта, а интересы РФ связывались с закупками разработанной в прежние годы техники и эксплуатацией инфраструктуры (главным образом в Евпаторийском центре). Благодаря решениям политического руководства страны стали возможны названные выше коммерческие контракты на внешних рынках, а также заключение договоров на уровне предприятий с заказчиками в Европе, Китае и ряде других стран. Кроме того, появилась возможность организовать сотрудничество (т. е. не поставки продукции, а совместное выполнение проектов) с США и некоторыми другими партнерами. Полет Л. Каденюка должен был положить начало таким проектам; однако после выполнения научной и образовательной программ, финансирования правительством США научных проектов и приглашения украинских экспертов в международные группы планирования такое сотрудничество угасло ввиду пассивной позиции украинской стороны. В то же время большинство целевых проектов национальной программы организовывалось как российско-украинские («Океан-О», «Сич-1», МКС, научные проекты) в рамках специальной межправительственной программы. Сотрудничество с европейскими странами (если исключить коммерческий проект по носителю «Вега») ограничивалось небольшими проектами на уровне групп ученых; координационный проект TWINNING способствовал вхождению украинских организаций в команды по выполнению европейских исследовательских грантов (7-й Рамочной и программы «Горизонт-2020»). Заключенные двусторонние международные договоры с 24 странами имели, в основном, рамочный характер; они способствовали организации проектов на уровне предприятий, однако не привели к выполнению совместных космических проектов на уровне государственных программ.

5. *Координация космической деятельности.* Значительные усилия прилагались для обустройства различных областей космической деятельности, координации с партнерами и вывода КД на общегосударственный уровень. Специальные отношения были выстроены с НАНУ и министерством обороны, выработаны основы политики внедрения продукции предприятий в различных отраслях, стандарты, нормативные, лицензионные и другие доку-

менты, формирующие легитимную работу отрасли. Среди конкретных мер создание и координация работ Национального центра управления и испытания космических средств, Национального центра аэрокосмического образования молодежи, двух институтов двойного подчинения (НАНУ-НКАУ), создание международного центра космического права, аэрокосмического общества, издание совместного журнала («Космическая наука и технология»), организация всеукраинских конференций по космическим исследованиям, международного форума по космическому праву, информационного бюллетеня агентства, официального периодического отчета в COSPAR. Новой формой координационной работы стало выполнение исследовательских прикладных работ в рамках соглашения между НАН Украины и ГП «КБ «Южное» (2012 год) в интересах создания новой техники и решения проблем импортозамещения. Многие решения принимались не как результат выполнения указаний вышестоящих инстанций, а в инициативном порядке, с целью продвинуть результаты КД и поднять уровень востребованности космических технологий. К сожалению, эту задачу в целом не удалось решить вследствие общего состояния промышленной и инновационной политики в стране.

В соответствии с Законом о космической деятельности Украины основным документом, регламентирующим осуществление КД (государственный заказ на космическую технику и услуги), является Общегосударственная (Национальная) космическая программа. В то же время основной объем фактической КД реализуется в сфере коммерческих космических проектов, указанных выше. В основе этой деятельности — разработки советского периода и активная работа менеджмента предприятий на международных рынках (главным образом ГП «КБ «Южное»). Действующие космические программы имеют к этим проектам опосредованное отношение, хотя формально они включены в Программу как коммерческая составляющая и небольшая часть исследовательских работ выполнялась за бюджетные средства. Причем в официальных отчетах эти работы фигурируют как главные приоритеты. Поэтому четко разделить эти составляющие можно достаточно условно. Ниже конспективно изложено резюме тех результатов, которые составляют разные подсистемы современной КД Украины и получены разными субъектами — предприятиями, находящимися в сфере управления Государственного космического агентства, академическими институтами, частными предприятиями, университетами (в первую очередь НТУУ «КПИ»).

5.2. Об основных результатах космических программ

5.2.1. Общегосударственные (национальные) космические программы Украины (ОКПУ)

Всего в Украине выполнялось 5 таких программ: на 1993—1997, 1998—2002, 2003—2007, 2008—2012, 2013—2017 годы. В табл. 5.1 указаны задачи и направления космической программы 2008—2012 годов, которые дают представление о приоритетах и запланированных работах (в программах других годов эти направления варьировались непринципиальным образом).

Таблица 5.1. Основные задачи и направления ОКПУ

Задание	Направления работ
Проведение научных космических исследований	Изучение Земли и околоземного пространства, исследования в области космической биологии и материаловедения, астрономические и астрофизические наземно-космические проекты, исследования по созданию перспективных малых спутников
Осуществление дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ)	Создание национальной системы наблюдения Земли «Сич», бортовых оптико- и радиочастотных систем, развитие системы космического мониторинга и геоинформационного обеспечения
Развитие спутниковых систем телекоммуникации и навигации	Создание спутниковой системы связи и вещания, системы координатно-временного и навигационного обеспечения
Создание космических комплексов	Создание космических комплексов, создание средств выведения КА, содействие их коммерческому использованию, совершенствование технологий создания РКТ
Разработка перспективной космической техники и технологий	Научно-технические и технологические исследования, создание перспективных систем, элементов и материалов РКТ
Обеспечение развития наземной инфраструктуры	Модернизация и развитие наземного сегмента, создание контрольно-калибровочного полигона подспутниковой поддержки
Обеспечение развития международного сотрудничества и аналитическая поддержка	Выполнение программ международного сотрудничества, научно-методическое, правовое и информационно-аналитическое сопровождение программы

В табл. 5.2 приведены обобщенные данные по финансированию выполненных программ с 1993 по 2017 год (по официальным отчетам ГКАУ). Третий столбец (сумма, предусмотренная бюджетом) свидетельствует о том, что колоссальное недофинансирование программ не было результатом возникшей нехватки средств, а является запланированным при формировании бюджета. Причем этот подход строго соблюдался всеми министрами финансов при всех правительствах. С точки зрения менеджмента

это означает следующее: программа, состоящая из некоторого количества НИОКР, предполагает выпуск определенной продукции (космических аппаратов, их составных частей, систем, узлов, агрегатов и т. п.); выделяемое финансирование (приблизительно 30 %) не позволяет получить конечный продукт в заданные сроки, вынуждает отказываться от целых разделов программы, существенно снижая тем самым эффективность всей работы. Этот факт необходимо учитывать при оценке эффективности достигнутых результатов (п. 5.3).

Таблица 5.2. Состояние финансового обеспечения выполнения Национальных космических программ Украины в 1993—2017 годах

Период	Предусмотрено программой (млн грн)	Предусмотрено Законом Украины «Про Государственный бюджет Украины» (млн грн)	Фактически профинансировано (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	1 109	???	347

Приведем кратко важнейшие результаты по тематическим направлениям (на основе официальных отчетов исполнителей программы).

Наблюдение Земли из космоса. Эта тематика исследований была приоритетом всех выполнявшихся программ, на нее приходилось не менее половины выделенных средств. На первом из отечественных КА «Сич-1» (1995 год) была отработана однопунктная система управления аппаратом, продемонстрирована способность отечественных специалистов обеспечивать полный цикл эксплуатации спутника на орбите. Если первые два аппарата «Сич-1» и «Океан-О» (1999 год) были продолжением советской программы, то последующие КА «Сич-1М» (запущен вместе с экспериментальным микроспутником «Микрон» (МС-1-ТК) в 2004 году) и «Сич-2» (2011 год) были воплощением украинской программы. Последний разрабатывался с аналогичным аппаратом «ЕгиптСат-1» по заказу Египта и представляет собой вполне современный аппарат среднего класса для решения природоресурсных, сельскохозяйственных задач и наблюдения за рядом

чрезвычайных ситуаций. Многозональный сканер и сканер среднего инфракрасного диапазона спутника обеспечивали получение цифровых оптико-электронных снимков поверхности Земли в пяти диапазонах — панхроматическом и многоспектральном с пространственным разрешением ~8 м и в среднем инфракрасном диапазоне с разрешением ~46 м. Работал аппарат на орбите немногим более года, поэтому в дальнейшем предполагался запуск аналогичного аппарата с улучшенными характеристиками. С использованием данных КА «Сич-2» и зарубежных спутников решен ряд практических задач, среди которых — контроль изменений лесных массивов в нескольких областях Украины, классификация земных покровов Киевской области, создание карты зеленых насаждений городов, карты для построения реестра виноградников и др.

Кроме того, организован прием информации с зарубежных КА, модернизирована соответствующая наземная инфраструктура, центры обработки и распространения информации. Научно-методические основы использования спутниковых данных в интересах решения научных и прикладных задач многие годы разрабатывались Центром аэрокосмических исследований Земли ИГН НАНУ, Морским гидрофизическим институтом НАНУ, Центром радиофизического зондирования Земли НАНУ-НКАУ, Институтом космических исследований НАНУ-НКАУ. Для определения оптимальных направлений развития отечественных систем дистанционного зондирования Земли создана методология оценки их эффективности, разработаны научно-прикладные программы использования спутниковых данных, подготовлен ряд государственных стандартов в области ДЗЗ. С целью решения актуальных экологических и природоресурсных задач отработаны методы космического мониторинга техногенного влияния на территории, определения состояния и состава лесов, параметров снежного покрова, влажности грунтов сельхозугодий, залежей углеводородов на шельфе, выполнены экспериментальные исследования по мониторингу параметров моря, разработаны тематические карты для Национального атласа Украины.

Научные исследования. Исследования околоземного пространства — верхней атмосферы, ионосферы, магнитосферы (или геокосмоса) являются традиционным приоритетом украинской космической науки. Аппаратура для диагностики ионосферной и магнитосферной плазмы, изготовленная в Львовском центре (ЛЦ) ИКИ НАНУ-ГКАУ (ранее — СКТБ ФМИ) успешно работала в более чем 15 космических экспериментах, начиная с 1972 года. Наиболее значимый из них — международный проект «Интербол»

(1997—2003 годы). В результате получены приоритетные данные о процессах геомагнитной активности, динамике магнитосферных процессов при взаимодействии с Землей солнечного ветра. Участие украинских ученых в использовании космических данных было относительно скромным, однако опыт работы в международной команде исследователей несомненно позитивен. Неосуществленный проект «Попередження» был направлен на поиск ионосферных предвестников землетрясений. Планировался запуск группировки КА, состоящей из основного спутника и двух субспутников с разнообразной аппаратурой для измерений параметров ионосферной плазмы. Нарботки в рамках этого проекта реализовались частично в космических экспериментах («Вариант», «Потенциал») и будут использованы в перспективном проекте «Ионосат». Эксперимент «Вариант» (2005 год) был осуществлен в ходе полета спутника «Сич-1М» и состоял в комплексе измерений электрических токов и электромагнитных полей ионосферной плазмы. Международный коллектив из Великобритании, Польши, Франции, России и Украины продемонстрировал высокий уровень характеристик новой исследовательской аппаратуры и получил ряд интересных данных, объем которых оказался ограниченным вследствие короткого времени активного существования КА. Космический эксперимент «Потенциал» (2011 год) выполнялся на борту КА «Сич-2» как продолжение эксперимента «Вариант» и этап подготовки проекта «Ионосат». Реализовывались планы создания системы подспутникового мониторинга для изучения закономерностей и взаимодействий в цепочке атмосфера—ионосфера—магнитосфера Земли. Исследовался, в частности, процесс передачи энергии от поверхности Земли в ионосферу через акустический канал с применением аппаратуры французского спутника «Demeter». Проектировалась и изготавливалась аппаратура для диагностики ионосферной и магнитосферной плазмы в рамках российских проектов «Чибис», «Резонанс», «Обстановка» (ЛЦ ИКИ НАНУ-НКАУ).

Внеатмосферная астрономия и астрофизика. В рамках космических программ Украины проводилось оснащение одного из крупнейших в мире телескопов сантиметрового диапазона РТ-70 в Евпаторийском центре (РИ НАНУ, НПО «Сатурн»). Эти работы давали возможность использования украинских телескопов РТ-70 и РТ-22 в создании наземно-космического интерферометра со сверхдлинной базой (РСДБ) и участия в масштабных международных проектах (в первую очередь в проекте «Радиоастрон»). В рамках проекта «Интерферометр» с помощью радиотелескопа РТ-70 проводились автономные наблюдения объектов ближнего и

дальнего космоса, модернизация приемно-регистрирующего комплекса, а также совместная работа в сетях РСДБ. Осуществлялась радиолокация объектов Солнечной системы (планет, астероидов, которые приближаются к Земле), изучены радиоизображения галактических и внегалактических источников, осуществлено картографирование радиоизлучения Галактики, получены данные наблюдений каталогизированного космического мусора. Прошли тестовые эксперименты по приему телеметрических сигналов европейских аппаратов дальнего космоса («Марс-Экспресс» и «Розетта»). Эти очень успешные работы были прерваны вследствие оккупации Крыма, а наработки по проекту «Радиоастрон» российские специалисты использовать не смогли. В проекте «Коронас-Ф» (2001 год) проводились исследования Солнца с использованием фотометра ДИФОС-Ф, созданного при участии специалистов ГАО НАНУ. Они дали новые результаты относительно спектров мощности колебаний солнечного излучения. Данные орбитальных измерений сопоставлялись с результатами синхронных наземных наблюдений в интересах гелиосейсмологических исследований. Проект «Коронас-Фотон» (2009 год) стал продолжением комплексных исследований Солнца с помощью специализированного спутника. Украинскими участниками эксперимента (ХНУ им. В.Н. Каразина) разработан спутниковый телескоп электронов и протонов «СТЕП-Ф» для изучения динамики высокоэнергетических заряженных частиц магнитосферного и солнечного происхождения. Несмотря на короткое время активного существования КА, прибор продемонстрировал успешную работу и обеспечил значительный объем информации.

Физика микрогравитации, материаловедение и технологии. В рамках проекта «Сегмент» проводилась подготовка к реализации на борту Международной космической станции цикла экспериментов для изучения влияния невесомости на живые объекты, физико-химические процессы и свойства веществ. До 2014 года удалось осуществить один полноценный эксперимент («Обстановка», ЛЦ ИКИ НАНУ-НКАУ) по созданию бортовой системы сбора данных об электромагнитной обстановке вокруг МКС, остальные завершились изготовлением наземных прототипов или полетных образцов (проекты «Биополимер», «Биолаборатория», «Морфос»). Однако значительный объем экспериментальных работ на наземных установках продолжился в рамках других проектов.

Космическая биология и медицина. Украина является одним из мировых центров комплексных исследований в области космической биологии, в частности, закономерностей влияния микро-

гравитации на живые системы на молекулярном, клеточном и организменном уровнях. Именно поэтому научная программа полета первого космонавта независимой Украины Л. Каденюка на американском шаттле «Колумбия» включала 10 экспериментов по космической биологии. Кроме космических экспериментов проводилась успешная образовательная кампания по опылению растений в школьных лабораториях, в которой приняли участие более 60 тыс. учеников. Проекты «Клетка» и «Космобиология» явились продолжением этих работ и посвящены гравичувствительности живых существ на разных уровнях их организации, механизмам адаптации к условиям микрогравитации, разработке космического оборудования и биотехнологий. Среди результатов работ — новая научная информация относительно причинных связей между изменениями в клетках и изменениями на уровне организма в целом. Впервые на уровне наноразмерных подсистем определены механизмы деминерализации костей, которые позволяют на новых принципах разрабатывать контрмеры для торможения деминерализации костной ткани как в условиях невесомости, так и при остеопорозе в земных условиях. Исследован ответ системы «вирус—растение» на действие микрогравитации, предложены новые модели для изучения ее влияния на биологические ритмы в организме человека, иммунную и нервную систему, микроциркуляцию крови. Разработаны технологии культивирования ряда биообъектов для систем жизнеобеспечения космонавтов в продолжительных космических путешествиях.

Развитие спутниковых систем телекоммуникации и навигации. Проект создания Национальной спутниковой системы «Лыбидь» предполагалось выполнить на коммерческой основе за средства кредита. В то же время небольшая часть предварительных исследований выполнялась в рамках ОКПУ — выработка требований к техническому облику космического сегмента, объем необходимого частотно-орбитального ресурса, приоритетные зоны обслуживания и соответствующие технические параметры системы, некоторые проектные материалы, а также технические требования к наземной инфраструктуре для обеспечения спутникового инновационного (ГП «Укркосмос»). Запутанная схема финансирования, участие российских организаций и размещение приемной аппаратуры в Крыму сильно затруднили выполнение проекта, который организаторы надеются возобновить в 2019 году. Объективные и субъективные обстоятельства, в которых реализуется проект, вызывают многочисленные нарекания и сомнения относительно развития этого направления в космической программе.

В течение нескольких программ выполнялись работы по созданию Системы координатно-временного и навигационного обеспечения Украины (СКНОУ), которая должна предоставлять потребителям через интернет навигационную информацию с требуемыми характеристиками по точности, надежности и доступности на всей территории Украины. СКНОУ создается в виде наземной распределенной дифференциальной подсистемы глобальных навигационных спутниковых систем GPS и соответствует действующим и перспективным мировым стандартам. Повышение точности определения координат объектов достигается за счет формирования дифференциальной корректирующей информации и ее распространения на территорию Украины и прилегающие территории. Развернута сеть в составе 15 контрольно-корректирующих станций (ККС) и Центра контроля навигационного поля, выполнено дооснащение ККС одночастотными приемниками. Достигнута в реальном времени точность местоопределения на уровне 1–2 м по всей территории Украины и сантиметрового уровня в 20-км зоне вблизи каждой из ККС. Полученные результаты позволят решать ряд практических задач, среди которых повышение эффективности и безопасности функционирования транспорта и увеличение транзитных перевозок через Украину, землеустройство, геологоразведка, строительство и др. (ОАО «НИИРИ»).

Создание космических комплексов и развитие перспективной космической техники. По проекту «Циклон-4» создавалась новая РН легкого класса для предоставления услуг по запуску спутников с экваториального пускового центра Алкантара (Бразилия). РН «Циклон-4» спроектирована с использованием ряда конструктивных и технологических новаций, среди которых применение третьей ступени с увеличенным запасом компонентов топлива, возможность многократного включения модернизированной двигательной установки третьей ступени, применение современной высокоточной системы управления с использованием GPS и др. Проект предусматривал повышение эргономических и экологических показателей для контроля полетных параметров, РН оснащается высококачественной системой приема телеметрической информации и средствами внешнетраекторных измерений. Разработана документация на РН и ее составные части, подготовлены производство и испытательная база, изготовлены и отработаны системы, узлы, агрегаты ракеты-носителя, началось изготовление первой ракеты для летных испытаний. ГП «КБ» Южное» и ГКАУ продолжают усилия для осуществления проекта с другим партнером после выхода Бразилии из совместного про-

екта. Создание КРК существенно расширит возможности осуществления запусков КА по госзаказу, коммерческих, а также в рамках совместных проектов (ГП «КБ «Южное», ГП «ПО Южный машиностроительный завод» (ЮМЗ).

Для оснащения перспективных систем управления ракетами-носителями, в том числе РН «Циклон-4», создана отечественная бесплатформенная инерциальная навигационная система (БИНС). Высокую точность управления обеспечивают применение информации спутниковых навигационных систем, использование лазерных гироскопов и маятниковых акселерометров. БИНС разработана на основе комплектующих приборов отечественного производства. Подготовлены производство БИНС и экспериментальная база, изготовлены и отработаны экспериментальные образцы системы. Созданы летные образцы аппаратуры и проведены их экспериментальные натурные испытания, в том числе на РН «Днепр», результаты которых подтвердили правильность конструктивных решений. По результатам испытаний изготовлены образцы для комплектования системы управления РН «Циклон-4» первого летного изделия (КП СПС «Арсенал», НПП «Хартрон-Аркас», ГП «КБ» Южное», ГП «ПО «ЮМЗ»).

Проведен комплекс научно-технических исследований для определения перспективных направлений технологического и материаловедческого совершенствования производственной базы создания РКТ. Разработан ряд технологий нового поколения, среди которых технология электрохимической подготовки алюминиевых деталей под сварку, технология нанесения жаропрочных гальванопокровтий, экологически безопасная технология анодирования алюминиевых сплавов с малым энергопотреблением, технология и оборудование для изготовления углепластиковых и углерод-углеродных композиционных материалов и др. Разработаны и внедрены схемы, методы и средства технической диагностики состояния изделий при испытаниях, аппаратура неразрушающего контроля паяных соединений, универсальный сварочный источник питания для сварки алюминиевых сплавов и др. (ОАО «УкрНИИТМ»).

Разработан ряд инновационных решений по совершенствованию технологий изготовления радиоэлектронной аппаратуры космического назначения, устойчивой к радиационному воздействию, с увеличенным ресурсом, минимальными массогабаритными показателями и энергопотреблением. Создано опытное производство по изготовлению солнечных батарей и припоев. Разработаны технология изготовления интегральных датчиков измерения угловых скоростей для систем ориентации КА, техно-

логия применения программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) с помощью формирования на «кристалле», созданы технология и средства автоматизированного контроля фотоэлектрических преобразователей (ГП «НИТИП»).

Разработана система ориентации нового поколения для космических аппаратов, которая обеспечит проведение прецизионных измерений координат звезд, выявление слабых сигналов на фоне световых помех, оптимальную по скорости стратегию распознавания звезд при минимальном объеме памяти бортовой вычислительной машины. В результате создана первая отечественная малогабаритная астроизмерительная система (МАВС) для высокоточного определения и выдачи в бортовой компьютер параметров трехосной ориентации в реальном времени. МАВС будет использована для оснащения КС «Микросат-М», а также при создании перспективных служебных систем КА и РН (КП СПС «Арсенал»).

Нормативно-техническая основа для создания конкурентоспособной РКТ и другой продукции с заданными показателями качества и надежности обеспечивается дальнейшим развитием отраслевой системы стандартизации, сертификации и управления качеством. Подготовлены национальные стандарты и нормативные документы, регламентирующие проектирование, изготовление, использование и порядок сертификации изделий РКТ. Обеспечено участие Украины в разработке международных стандартов путем сотрудничества с международной организацией ISO, проводится обмен информацией с известными европейскими органами по сертификации. Разработаны нормативные документы по управлению качеством и «Программа совершенствования, дальнейшего развития и поддержки функционирования отраслевой системы управления качеством на 2013—2017 годы» (ГП «ЦС РКТ», ГП «ДНИЦСКТ», ОАО «Хартрон»).

Развитие наземной инфраструктуры. Система контроля и анализа космической обстановки (СКАКО) должна предоставлять собственные данные об обстановке в околоземном космосе для обеспечения полетов отечественных РН и КА. Для реализации необходимых функциональных возможностей СКАКО разработаны подходы по использованию ряда украинских оптических средств наблюдения в качестве источников информации; в рамках модернизации средств СКАКО разработаны экспериментальные образцы программно-технических комплексов съемки, обработки и отображения информации, введена в эксплуатацию система защиты информации, обеспечены сопровождение космических объектов и решение баллистических задач (ГП «КБ «Южное», ГП НИПИ

«Союз»). Проведена модернизация станций совмещенных командно-телеметрических радиолиний НС СКТРЛ-М, ЧП СКТРЛ-М1 для расширения сектора обзора и повышения надежности радиосвязи, а также систем управления антенными устройствами СКТРЛ-М, СКТРЛ-М1 и УН СПИ-8.2 для работы с КА «Сич-2» и перспективными КА. Обеспечены повышение скорости передачи телеметрической информации для РН «Циклон-4» и повышение скорости передачи данных ДЗЗ по радиолинии Х-диапазона для КА «Микросат», созданы и испытаны опытные образцы аппаратуры потребителя спутниковых навигационных систем для работы в контуре системы управления РН «Циклон 4» (ОАО «НИИРИ»).

Создавалась мобильная система телеметрии (выносной измерительный пункт) для запуска РН «Циклон-4» на необорудованных трассах пусков. Она будет обеспечивать прием, регистрацию, обработку и отображение информации на активном участке траектории и в области вывода полезной нагрузки на запланированную орбиту (ОАО «НИИРИ»).

В силу недостаточного финансирования ОКПУ последних лет многие проекты переносились и видоизменялись. В проекте программы на 2018—2022 годы обозначен приоритетным запуск двух космических аппаратов, разработанных в ходе предыдущей программы — очередного аппарата ДЗЗ «Сич-2М» и КА «Микросат» (с научной программой «Ионосат» и рядом прикладных экспериментов).

5.2.2. Коммерческие международные космические проекты

Как уже отмечалось, коммерческие проекты ГП «КБ «Южное» формально являлись частью ОНКПУ. Но одновременно они отражают тот видимый вклад в мировую космическую деятельность, который обеспечивался отечественным ракетно-космическим потенциалом и фактически мало связан с остальными заданиями программы. Эта деятельность характеризуется уникальным соотношением вложенных бюджетных средств и средств, перечисленных в бюджеты разных уровней (рис. 5.1—5.3). Ниже приведена краткая справка об основных направлениях этих проектов, а богатый фактический материал размещен на многочисленных тематических сайтах. Еще один знаковый проект «Циклон-4» в этом перечне не освещен, поскольку его судьба ждет решения.

«Днепр». Ракета-носитель легкого класса «Днепр» была создана в 1999 году на базе межконтинентальных баллистических ракет РС-20 (SS-18 «Сатана»), которые были разработаны в 1970-е годы в «КБ «Южное» и подлежащих ликвидации согласно



Рис. 5.1. Динамика объемов выполненных работ и реализации продукции ГП «КБ «Южное» за 2011—2017 годы, млн грн

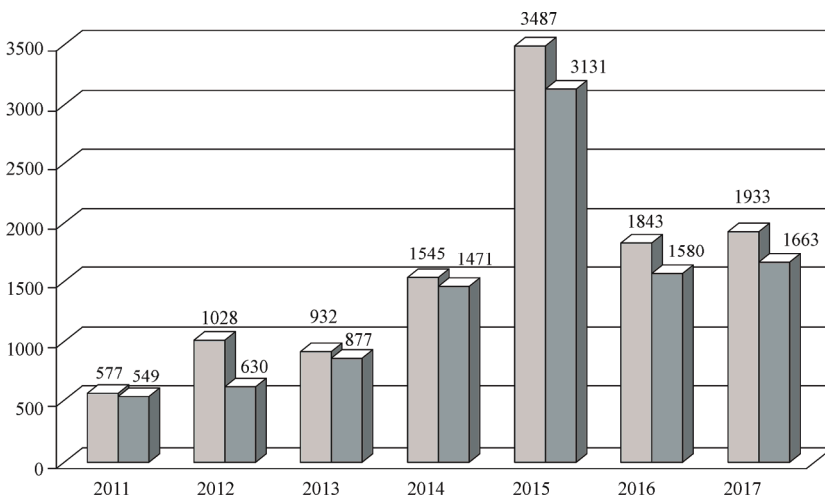


Рис. 5.2. Динамика полученного финансирования ГП «КБ «Южное» за период 2011—2017 годы, млн грн (общий объем финансирования за 2011—2017 годы (□) — 11 345 млн грн, в т. ч. по иноконтрактам (■) — 9901 млн грн)

российско-американскому договору СНВ-1. РН «Днепр» предназначена для оперативного высокоточного выведения на околоземные орбиты с высотами 300—900 км, наклонами 50,5°, 64,5°, 87,3°, 98° одного или группы космических аппаратов различного

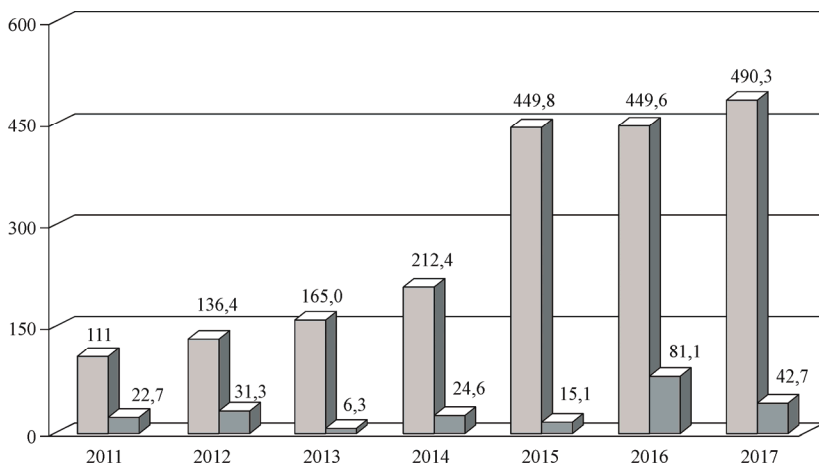


Рис. 5.3. Средства ГП «КБ «Южное», перечисленные в бюджет, государственные целевые фонды (□) и полученные из бюджета (■), млн грн (всего за 2011—2017 годы в бюджет перечислено 2 014,5 млн грн, из бюджета получено 223,8 млн грн)

назначения. РН «Днепр» обладает высокими энергетическими возможностями, точностью выведения и надежностью в полете. Коммерческая привлекательность этого изделия определяется низкой стоимостью пуска и опытным персоналом. Пуски осуществлялись с космодрома Байконур и пусковой базы «Ясный». Оператором пусковых услуг была международная космическая компания «Космотрас». С 1999 года осуществлено 22 пуска РН «Днепр», с помощью которых на орбиту выведено более 140 космических аппаратов более чем 20 стран. В период с 1999 по март 2015 года было осуществлено 22 пуска РН «Днепр», из которых один оказался неудачным.

«Морской старт». В 1995 году ГП «КБ «Южное» и «ПО «Южный машиностроительный завод» совместно с компаниями американской «Боинг», норвежской «Кварнер» и российской «Энергия» создали предприятие «Си Лонч» («Sea Launch») для реализации уникального международного проекта «Морской старт». С этой целью была проведена модернизация ракеты-носителя «Зенит-2» в трехступенчатую РН «Зенит 3SL». Проект впервые реализовал идею использования морской платформы для осуществления коммерческих космических запусков из экваториальной зоны Тихого океана, что позволяет максимально использовать эффект вращения Земли для уменьшения энергетических затрат при выведении спутников на орбиты. Программа «Морской старт» была рассчитана,

прежде всего, на запуски спутников на высокие геостационарные орбиты. Разработка и реализация проекта осуществлялись полностью на коммерческой основе, без привлечения государственного финансирования. С 1999 года совместное предприятие Sea Launch выполнило 36 коммерческих пусков РН «Зенит-3SL». В августе 2014 года программа «Морской старт» была приостановлена из-за российской агрессии. 28 апреля 2017 года был заключен контракт между «Южмашем» и компанией S7 Sea Launch Limited на производство и поставку ракет-носителей серии «Зенит». В целом контракт предусматривает изготовление 12 ракет-носителей для использования в программах «Морской старт» и «Наземный старт» в мирных целях в рамках международных космических проектов. С 2016 года группа компаний S7 стала владельцем плавучего космодрома «Морской старт» и планирует продолжить использовать ракеты «Зенит» украинского производства до 2023 года.

«Наземный старт». Это международный проект (Россия, Украина, США) по использованию стартового комплекса космодрома Байконур «Зенит-М» для запуска ракет-носителей «Зенит-2», «Зенит-3». Для реализации проекта было создано совместное украинско-российское предприятие «Международные космические услуги».

Маркетинговые исследования, проведенные компанией «Sea Launch» в процессе реализации проекта «Морской старт», показали, что значительное число запусков космических аппаратов массой до 4 тонн целесообразно осуществлять не с морской платформы, а с пусковой установки космодрома Байконур. В январе 2004 года было подписано Соглашение о принципах сотрудничества по программе «Наземный старт», которое предполагало использование заделов по комплексам «Зенит» и «Морской старт». В ходе подготовки программы были проведены доработки ракеты-носителя «Зенит-2» и разгонного блока «ДМ-SL», а также стартовой площадки и других объектов наземной инфраструктуры космодрома. С 2008 по 2013 год осуществлено 6 успешных запусков зарубежных телекоммуникационных космических аппаратов.

«Антарес». Одноразовая ракета-носитель «Антарес» создана американской компанией Orbital Science Corporation в рамках международной кооперации с участием предприятий Украины. Основная конструкция первой ступени РН «Антарес» разработана ГП «КБ «Южное» и изготовлена ГП «ПО «Южный машиностроительный завод» в кооперации с украинскими предприятиями («Хартрон-АРКОС», «Киевприбор», «Хартрон-ЮКОМ», «ЧЕЗАРА» и др.). РН «Антарес» предназначена в первую очередь для доставки грузов на Международную космическую станцию, а также для запуска ком-

мерческих и государственных космических аппаратов. Первый пуск ракеты был осуществлен 21 апреля 2013 года. В ноябре 2017 года была запущена РН «Антарес», которая вывела на орбиту грузовой корабль *Cygnus* для доставки на Международную космическую станцию 3350 кг груза — максимального груза, который выводился на орбиту за все предыдущие миссии. К концу 2018 года осуществлено девять пусков ракеты-носителя «Антарес».

«*Vega*». Ракета-носитель «*Vega*» разработана Европейским космическим агентством совместно с Итальянским космическим агентством и предназначена для доставки на орбиту малых космических аппаратов. РН способна выводить на солнечно-синхронную орбиту высотой 1200 км полезную нагрузку массой до 1200 кг и на полярную орбиту высотой 700 км — массой до 1,5 т. Маршевый двигатель четвертой ступени ракеты-носителя (РД-868П) разработан ГП «КБ «Южное», произведен ГП «ПО «Южный машиностроительный завод». Первый пуск РН «*Vega*» состоялся 13 февраля 2012 года с космодрома Куру (Французская Гвиана), в 2018 году состоялся ее 12-й пуск.

5.2.3. Программы научных космических исследований НАН Украины

С 2011 года в НАН Украины выполнялись целевые комплексные программы по космической тематике: «Исследование солнечно-земных связей и их влияния на функционирование геосистем» («Геокосмос») и «Астрофизические и космологические проблемы скрытой массы и темной энергии» («Космомикрофизика-2»), а также научный проект «Физические основы, методы и информационные технологии создания нового поколения приборов и систем для космических исследований».

С 2012 года эта тематика объединена в комплексную программу научных космических исследований НАН Украины, новая редакция которой рассчитана на выполнение в 2018—2022 годах (т. е. она синхронизирована с Общегосударственной космической программой). В соответствии с концепцией программы планируется провести космические исследования по следующим приоритетным направлениям:

- идеи, концепции, научно-техническое и финансово-экономическое обоснование будущих космических проектов Украины;
- систематизация, обработка данных и интерпретация результатов завершенных спутниковых научных экспериментов, в том числе с использованием украинских бортовых приборов, установленных на отечественных и зарубежных космических аппаратах;

- информационное и методическое обеспечение, а также разработка оборудования для полезной нагрузки КА в научно-технических космических проектах, включенных в ОКПУ на 2018—2022 годы;

- научно-техническая поддержка выполнения проектов, включенных в Программу совместных исследований НАН Украины и ГП «КБ «Южное»;

- научно-техническая поддержка проектов украинских учебных, которые выполняются или запланированы для выполнения в международных космических миссиях;

- создание баз данных космических миссий Украины и мира и обработка их результатов;

- совершенствование существующих и создание новых научно-исследовательских наземных систем по сопровождению национальных и международных космических миссий;

- социогуманитарные и правовые аспекты космической деятельности.

Конкурсные проекты выполняются в рамках 11 тематических направлений:

1. *Разработка предложений по государственной космической политике Украины и организации международного сотрудничества.*

2. *Космическая погода.* Разработка научно-организационных мероприятий и рекомендаций для создания национальной системы и интернет-ресурса по направлению «Космическая погода». Интегрирование оригинальных украинских научно-исследовательских комплексов и установок зондирования космического пространства в эту систему.

3. *Науки о Вселенной (внеатмосферная астрономия).* Исследование Луны как первоочередная перспективная научно-техническая задача. Изучение Солнца и тел Солнечной системы. Исследования по внеатмосферной астрономии и астрофизике.

4. *Динамика космических аппаратов.* Динамика и астроориентация КА, эфемеридное и координатно-временное их обеспечение; управление динамикой космических группировок: аэрогазодинамика ракет-носителей, двигателей и космических аппаратов, взаимодействие космических аппаратов с окружающей средой в ионосфере и магнитосфере Земли.

5. *Науки о жизни.* Космическая биология и медицина. Исследование влияния факторов космического полета на живые организмы на разных уровнях их организации и разработка научных основ создания биорегенеративных систем жизнеобеспечения космонав-

тов в длительных полетах и персонала лунных баз. Взаимодополняющие физические и биологические эксперименты.

6. *Исследования Земли из космоса.* Изучение наземных геосистем с помощью космических средств

7. *Околосземное космическое пространство.* Исследование глобальных гидродинамических и электромагнитных процессов и динамики потоков частиц в ионосфере и магнитосфере; взаимодействие солнечного ветра и приповерхностных возмущений с магнитосферно-ионосферной системой.

8. *Новые материалы, конструкции и технологии.* Разработка новых материалов и покрытий, способных выдерживать экстремальные космические условия эксплуатации; создание сложных космических конструкций и прогрессивных космических технологий; новые материалы, создание которых возможно лишь в условиях космического полета.

9. *Космическое приборостроение.* Оригинальные исследования в области научного космического приборостроения; совершенствование космической техники и технологий ее создания; разработка принципов построения бортовой аппаратуры КА.

10. *Космические средства и технологии для решения научно-практических задач.* Разработки, которые будут использованы для реализации перспективных космических миссий.

11. *Научно-правовой, экономический и социальный аспекты космических исследований.* Работы по дальнейшему развитию научно-правового, экономического и социального аспектов космической деятельности.

Общее финансирование программы на 2018 год составляло примерно 5 млн грн, в отобранных проектах принимало участие 15 институтов НАН Украины.

5.2.4. Другие программы и проекты

Космическая программа НТУУ «КПИ имени Игоря Сикорского». Знаковым событием для университетской науки стали создание и успешный запуск 19 июня 2014 года на околосземную орбиту первого украинского наноспутника «PolyITAN-1» формата CubeSat, созданного сотрудниками Киевской политехники. В КА использованы собственные разработки университета — сотопанельные углепластиковые конструкции, фотокремневые преобразователи, экспериментальная солнечная батарея, системы радиосвязи и радиоуправления, наземная станция управления полетом, сенсоры координат Солнца, а также электронная плата с центральным процессором, с помощью которой осуществляется управление подсистемами КА.

С 2014 года действует научно-техническая космическая программа Киевской политехники, которая предусматривает такие направления работ [11]:

- разработка наноспутников формата CubeSat, участие в создании микроспутников различного применения;
- осуществление спутниковых телекоммуникаций;
- выполнение задач по созданию системы орбитального сервисного обслуживания;
- выполнение заказов отечественных и зарубежных организаций по космической проблематике.

Программой предусматривается создание и запуск аппаратов в 2016—2019 годах. Университет принимает участие в престижном международном проекте QB50, в рамках которого осуществлен запуск в 2016 году на околоземную орбиту 50 наноспутников формата CubeSat, созданных в разных странах мира — Китае, Франции, США, Германии, Дании, Нидерландах и др. и один в НТУУ «КПИ». Целью проекта QB50 является проведение многопозиционных натурных измерений параметров нижней части термосферы Земли на высотах 90—400 км и исследование этих параметров при вхождении спутников в верхние слои атмосферы; КА «PolyITAN-3» будет иметь формат 3U, вес до 5 кг и решать отдельные задачи ДЗЗ с разрешением 30—15 м.

Второе направление программы сосредоточено на спутниковых телекоммуникациях, в частности, по координации спутниковых телекоммуникационных сетей. Речь идет о разработке технических параметров спутниковых сетей Украины, подготовке и публикации заявок с сетями Украины в Международном союзе электросвязи, оптимизации параметров сетей для достижения электромагнитной совместимости с сетями других стран и, в частности, об участии в координации спутниковой сети для отечественной системы «Лыбидь» [11].

Среди космических проектов, которые осуществляются в Украине, появился вклад успешных частных предприятий, которые уже сегодня заметны на рынках космических услуг. Так, *частное акционерное общество «Систем Солюшнс»* совместно с швейцарской компанией «Leica Geosystems» создало и успешно эксплуатирует в Украине крупнейшую сеть корректирующих станций для ГНСС, предоставляя широкий спектр услуг в сфере позиционирования. Кроме того, компания разворачивает предоставления услуг в сфере точного земледелия. *Научно-производственное объединение «Курс»* совместно с ГП «КБ «Южное» разрабатывает про-

ект КА орбитального обслуживания — перспективный проект, ориентированный на внешние рынки.

Ассоциация «Ноосфера» (Noosphere Ventures) продвигает ряд инициатив, в частности в аэрокосмической сфере: среди социальных инициатив ассоциации в Украине образовательный проект Noosphere Engineering School, конкурс инженерных стартапов Vernadsky Challenge, фестиваль робототехники BestRoboFest. В мае 2018 года в городе Днепр представлено новое предприятие «*Firefly Aerospace*», на котором разворачиваются исследования и экспериментальные разработки в области ракетной техники. *Компания «EOS» (Earth Observing System)* специализируется на обработке и применении данных дистанционного зондирования Земли. *Альянс «Новая энергия»* — общественная инициатива, созданная с целью построения новой политики энергоэффективности и энергосбережения, инициирует новые проекты в области разработки и внедрения космических технологий.

5.3. Выводы

На основании приведенной обзорной информации можно предложить общие оценки процесса и результатов космической деятельности в Украине. Начнем с вводного замечания исторического плана. Формирование космической деятельности Украины происходило на индустриальной и научно-технической базе части советского потенциала, который предназначался для разработки и изготовления ракетно-космической техники военного назначения, что в значительной степени определяет ряд уникальных особенностей украинской космонавтики по сравнению с другими странами. Можно выделить два характерных сценария: для мощных космических держав (США, СССР, объединенная Европа) КД формировалась на основе модернизации предприятий оборонной (в первую очередь авиационной) индустрии, происходившей в послевоенный период. В большинстве других стран вначале формировалась определенная научно-технологическая среда (часто при содействии «великих» космических держав), которая вырабатывала рекомендации по созданию тех или иных космических средств и технологий, выполняя заказ государства относительно формирования космической деятельности. На этой основе и создается национальная космическая индустрия (или научно-технологический сектор), соответствующая национальным задачам.

В Украине унаследованный потенциал был создан для решения задач, решавшихся другой, уже несуществующей страной,

т. е. структура и научно-производственные мощности были частью несуществующего целого. Последствия этой структурной особенности сводятся не только к известной проблеме избыточности потенциала, а также технологической и производственной зависимости от России и ориентации на ее рынок. Серьезными оказались как организационные, так и мировоззренческие (а также психологические) последствия: уровень провозглашенных задач часто не соответствует масштабам Украины, а космические программы в основном наследуют советские подходы. Базовый тезис об «Украине — космической державе» (по количеству запусков, доле на мировом рынке, уровню потенциала) диссонирует с реальной государственной поддержкой КД. В среде управленцев и в обществе сталкиваются противоположные взгляды на приоритетность космической сферы: от безусловной ее поддержки как национального достояния до призывов прекратить несвоевременные траты на космос. В результате сложилась уникальная ситуация, когда страна с мощным космическим потенциалом нацелена на требования в основном зарубежных потребителей услуг по запускам, используя ресурс отрасли, приобретенный в предыдущие годы. При этом Украина не входит в число исполнителей европейских или других международных космических проектов, практически не реализует собственных, а космические технологии не стали «локомотивом инновационного развития» страны. Положительные результаты в коммерческих международных проектах достигнуты благодаря активной работе предприятий на внешних рынках, а государственное управление КД оказалось в целом неэффективным. Общая ситуация с космической деятельностью может быть охарактеризована как постепенное ее свертывание, хотя растянутость во времени делает эту тенденцию неочевидной.

Анализ сложившейся ситуации является необходимым условием энергичных действий, основанных на релевантной стратегии. В данной работе автором сделана попытка рассмотреть текущую ситуацию с точки зрения программной, идеологической составляющей КД. В п. 5.1, 5.2 изложены положительные результаты, которых удалось достичь на начальном этапе формирования КД Украины, а также в процессе выполнения текущих программ. В то же время, на основании анализа результатов наших программ и проектов следует признать, что уровень и результаты космической деятельности не соответствуют современным требованиям обеспечения базовых общегосударственных задач, продекларированных в программных документах. Иными словами, уровень и эффективность применения космических средств, технологий и информации

в Украине не соответствуют современным требованиям, в частности, к обеспечению безопасности, высокотехнологического развития экономики, эффективного управления, повышения общего научно-технического потенциала и качества жизни граждан.

Ниже тезисно излагается авторская позиция, на которой базируется приведенный общий вывод и которая может служить основой дискуссии относительно исходных положений будущей космической стратегии.

1. *Результаты выполнения национальных космических программ свидетельствуют о невыполнении основных заявленных стратегических целей:* создание систем космического наблюдения, вхождение в международные программы, обеспечение инновационного развития, а сама деятельность реализуется как процесс, а не последовательное достижение поставленных целей. Несмотря на ряд технологических и научных достижений, созданные за бюджетные средства изделия (космические аппараты, телекоммуникационные, навигационные, информационные средства) решали в основном демонстрационные задачи и не стали частью систем, обеспечивающих решение общегосударственных задач в режиме постоянной эксплуатации.

2. *Качество управления КД и государственная поддержка не обеспечивали должный уровень ее эффективности.* Большое количество законодательных и нормативных актов и организационных решений не представляют собой целостной системы управления КД, а решают отдельные текущие задачи. Отсутствует общегосударственный орган, координирующий применение результатов КД в различных сферах, а общегосударственная по форме космическая программа фактически представляет собой набор проектов для космического агентства и предприятий отрасли по созданию техники, а не ее применению. Проекты государственной программы формируются так, что функции заказчика, исполнителя и пользователя не разделены. При этом отсутствует целостная схема КД: выработка политики и стратегирование — формирование заказа — контроль качества — эксплуатация РКТ — использование информации и услуг.

3. *В ходе выполнения космических программ практически отсутствовали проекты создания перспективных техники и технологий.* Выполненные разработки в основном были направлены на модернизацию существующих образцов, создание отдельных систем и приборов для текущих проектов. Практически отсутствовали поисковые исследования для создания прорывных решений. Научно-прикладные проекты инициировались промышленностью и

основаны на возможности изготовить определенный набор аппаратных средств. При этом не удалось развить инструментальную базу космических исследований, а количество лабораторий и специалистов, способных создать полезную нагрузку для космических миссий, за последние годы критически уменьшилось.

4. *Финансирование Общегосударственной (национальной) космической программы не позволяло получить конечный продукт, приводило к срыву плановых сроков и перекраиванию проектов.* Основу бюджетного процесса составляют некоторые показатели предыдущих лет, никак не связанные с запланированными работами и выпуском космической техники. При этом фактическое финансирование составляло малую часть от предусмотренного в Законе о космической программе (характерный показатель — 30 %), а выделение средств никогда не было регулярным. Введение тендерных процедур привело к сдвигу начала финансирования работ на последние месяцы года. Абсурдность сложившейся практики финансирования не только делает невозможным плановое выполнение проектов, но создает серьезные долговременные последствия в отношении предприятий к госзаказу. Поскольку освоить выделенные средства невозможно, бюджет воспринимается как некая поддержка предприятия, не предусматривающая конечной продукции. Поэтому возникает разительный контраст между организацией работ по коммерческим и государственным контрактам. При этом эффективность государственных программ снижается критически.

5. *Международная деятельность не стала инструментом достижения собственных программных целей* (речь идет о международном сотрудничестве, а не о выполнении зарубежных коммерческих заказов на поставку продукции). Многочисленные двусторонние договоры имеют рамочный характер и не привели к реализации совместных проектов. Исключение составили только договоры с РФ (до 2014 года), которые продолжали советскую программу и были инициированы российской стороной. Многолетние переговоры о вступлении в ЕКА носят декларативный характер и не привели к согласованию конкретных совместных проектов. Имеющееся сотрудничество ограничивается участием отдельных ученых или групп в европейских программах (Горизонт 2020, РП-7 и некоторых других) и носит эпизодический характер. Свернуто участие украинских представителей в международных группах планирования совместных космических проектов в разных сферах и стратегического планирования (ISLSWG, ILWG, IPSCG и некоторых других) [12, 13].

6. *Незавидная судьба фундаментальных и прикладных исследований оказала серьезное влияние на уровень выполненных космических программ.* Успех КД напрямую зависит от разработки новых идей,

создания новых технологий и приборов, непрерывности процесса поиска. Запуск космических аппаратов один раз в пять лет — это практически неизбежная стагнация исследований и разработок, а также навыков персонала в деле эксплуатации космической техники. Нереализованные проекты создания новых космических аппаратов, молодежных спутников делают нас отстающими от не-космических стран, а своих исследователей провоцируют сменить специальность. Из-за отсутствия новых разработок в ближайшее время становится необратимым сворачивание космической деятельности как таковой. Для того чтобы этот сценарий не осуществился, необходим не только определенный уровень финансирования, но и обоснованная, самосогласованная и реалистичная программа перспективных исследований и инновационных применений.

Обозначенные кризисные моменты в КД имеют целый комплекс причин — от неэффективности государственного управления и финансирования до субъективных качеств отдельных управленцев. В данной работе рассмотрение сфокусировано на одной из составляющих КД, а именно — на идеологической стороне проблемы, точнее, выработке собственной стратегии и последовательной ее реализации. Без этого ключевого момента любые действия по реорганизации предприятий, реформированию органов управления, принятию программ разного уровня обречены на неудачу. Между тем, эта проблема не решается в силу того, что она не осознана и не поставлена. В системе космической деятельности вообще отсутствует такой элемент исследований как системный анализ состояния КД и построение модели отрасли и деятельности в целом. Лица, принимающие решения, так и не выросли из первого этапа формирования отрасли, когда актуальным было поддержание унаследованных технологий и производственных мощностей.

Именно поэтому национальные космические программы имеют вид советских, в которых содержатся почти все присущие космической державе направления. Формально существующая долговременная программа представляет собой экстраполяцию тех работ, которые начались в 1990-е годы и имеют, в основном, демонстрационный характер. Перечень проектов представляет собой список предложений руководителей предприятий, который не отвечает на вопрос о степени эффективности решаемых общегосударственных задач. Эта ситуация со стратегическим планированием отличает Украину от подавляющего большинства других держав и объясняет многие из сформулированных выше кризисных моментов. Поэтому в дальнейшем предметом рассмотрения станут именно подходы к стратегическому управлению космической деятельностью.

6

О ВЫРАБОТКЕ СТРАТЕГИИ КОСМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

То, что полностью контролируемо, никогда не бывает вполне реальным. То, что реально никогда не бывает вполне контролируемо.

В. Набоков

6.1. Предпосылки применения стратегического управления космической деятельностью

Предмет второй части данного исследования — подходы к выработке стратегии космической деятельности Украины и основания соответствующей методологии. Подчеркнем, что объектом стратегии и стратегического управления является космическая деятельность в широком смысле (см. гл. 4). Нами в это понятие включаются и такие сферы как научные исследования, менеджмент, трансфер технологий, политическая, законодательная, нормативная и образовательная составляющие. Более широкая трактовка диктуется нашим подходом, в котором КД рассматривается с точки зрения ее воздействия на все остальные «некосмические» сферы. С позиции внешнего пользователя космическое законодательство, наука или менеджмент есть составляющие космической деятельности.

Уточним кратко некоторые другие применяемые далее понятия и контекст их рассмотрения. Стратегию КД определим как установление основных долгосрочных целей КД, а также направления действий и ресурсов, необходимых для достижения поставленных целей. Иными словами, как систему смыслообразующих намерений, которая опирается на имеющиеся или создаваемые ресурсы и имеет временные рамки для осуществления поставленных целей (в некоторых случаях, например [1, 2], цели и ориентиры не включаются в понятие стратегии). В различных источниках можно найти и другие определения, а также термин «космическая политика», который употребляется в близком значении (как процесс принятия решений и применение по-

6.1. Предпосылки применения стратегического управления...

политики государства в отношении космической деятельности). Представляется, что приведенное значение наиболее точно передает смысл процесса, изображенного на рис. 6.1 и имеющего практическую направленность. Под стратегическим управлением будем понимать деятельность, схематично показанную на рис. 6.2, а именно, направленную на достижение новой конфигурации КД. Стратегическое управление КД предполагает действия, в основу которых положены аргументированные ответы на вопросы: в каком состоянии КД находится сейчас, в каком состоянии она будет через некоторый период планирования и каким способом достичь желаемого результата?

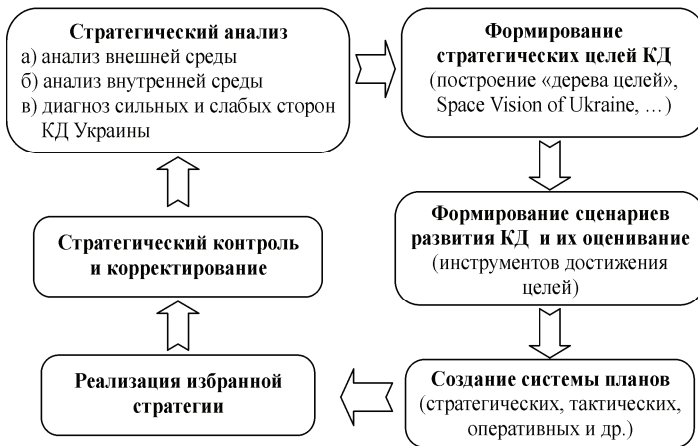


Рис. 6.1. Схема стратегического управления космической деятельностью

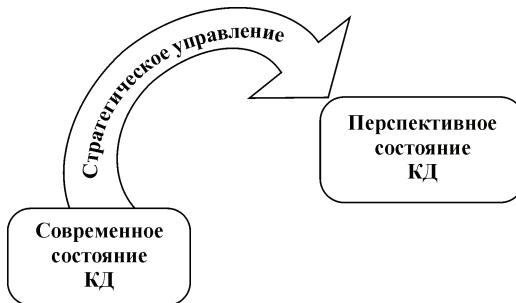


Рис. 6.2. Стратегическое управление космической деятельностью

Развиваемый подход к построению стратегии КД Украины имеет два мотива. Во-первых, в современных условиях цели, результаты и показатели в области освоения и использования космического пространства рассматриваются в контексте национальных стратегий развития (о новой парадигме космической деятельности уже упоминалось). Поэтому, в методологическом плане происходит переход от технико-экономического анализа космических средств к системному анализу космической деятельности или, следуя работе [2], переход объектоцентрической к системоцентрической и затем к деятельностной оценке. Во-вторых, и это главное, приоритеты и основы украинской КД принципиально не выводятся из предыдущего опыта и требуют привлечения подходов стратегического управления. Это означает, что есть принципиальная разница между долгосрочным планированием (когда будущее моделируется экстраполяцией исторически сложившихся тенденций) и стратегическим управлением, в котором экстраполяция заменяется развернутым стратегическим анализом, связывающим цели и перспективы.

Необходимо отметить, что рассматриваемый подход не есть некий лучший или более совершенный, чем прочие. Это различные срезы одной и той же сложной системы. Абсолютно необходим системный анализ и прогноз КД с точки зрения развития техники, как, например, в фундаментальных монографиях [3, 4]. Отдельную сферу представляют промышленная политика, управление отраслью и отдельными предприятиями, дорожные карты развития новых технологий и трансфер инноваций в другие отрасли экономики, приоритеты научных исследований, развитие космического права. В монографии [2] анализ космической деятельности направлен на институциональное проектирование, т. е. установление отношений между субъектами КД и создание соответствующих институтов.

Для Украины приоритетной задачей мы полагаем создание научно обоснованной системы принятия решений в области КД, включающей адекватный анализ текущей ситуации, выработку системы целеполагания, сценарного анализа вариантов развития, методологии планирования и контроля. Конечным продуктом такого анализа должна быть методология выработки планирующих и экспертных документов, принципов согласования различных программ в области КД. Такая постановка проблемы следует из состояния стратегического управления КД, которое можно характеризовать, такими положениями:

- отсутствием стратегических документов и стратегического управления как необходимой части процесса принятия решений;

- различными (а иногда противоположными) взглядами управленцев, политиков и общественности на роль и масштабы космической деятельности: от пропаганды масштабных (на уровне советских) космических проектов до полного отрицания ее необходимости;

- слабой совместимостью идеологии украинской космической деятельности и международных программ, инициатив и, как результат, нереализованными планами участия в международных проектах (продажа услуг и техники в этот пункт не входит);

- практически полным отсутствием применения результатов КД (информации, технологий, сервисов) в решении общегосударственных задач; такое состояние напрямую вытекает из действующих программ и планов (экологический и ресурсный мониторинг, сельское и лесное хозяйство, транспорт, телекоммуникации и т. д.), а не каких-то технических сбоев или просчетов исполнителей.

Уникальность ситуации с КД в нашей стране состоит в том, что унаследованные от СССР научные, технологические и промышленные возможности составляют часть несуществующего целого, а задачи их использования нуждаются в решительном пересмотре, исходя из интересов независимой Украины. Поэтому стратегическое планирование в принципе не может основываться на прежней деятельности, а система принятия решений должна учитывать новые требования международной космической деятельности и изменившиеся внутренние обстоятельства, особенно в связи с агрессией на востоке.

Предлагаемая схема действий не является конспектом стратегических документов. Сложилась ситуация, когда процесс (выработки стратегии или принципов стратегирования) имеет меньший смысл, чем результат. Такой взгляд связан с состоянием управления космической деятельностью в нашей стране, когда практически отсутствует система выработки стратегических решений, более того, не осознана необходимость ее создания. Поэтому выработка общего языка, на котором должны идти дискуссия и разрабатываться методологические подходы, имеет принципиальное значение.

В первой части монографии предпринята попытка представить результаты анализа внешних и внутренних факторов, которые могут служить предпосылками для разработки стратегического видения и долгосрочных космических планов. Подчеркнем еще раз, что этот конспективный текст не претендует на полноту анализа; его цель — кратко охарактеризовать те принципиальные моменты, без которых стратегический взгляд на КД невозможно выработать (разумеется,

приведена авторская точка зрения). Далее будем придерживаться концептуальной схемы стратегического управления [1, 5, 6], которая предполагает следующие необходимые этапы: анализ внешних факторов и внутреннего состояния системы, формулировку целеполагания, выработку сценариев, которые корректируются в ходе оценки их эффективности (см. рис. 6.1).

Системные осмысленные действия в рамках стратегического управления предполагают перманентное возвращение к базовым вопросам, которые определяют конечную задачу. Для того чтобы дать правильные ответы на вопросы, необходимо корректно их поставить. Будем учитывать, что цель последующего изложения — выработка аргументации и подходов к решению, в частности, таких вопросов:

- Какие приоритетные задачи общенационального характера способны решать космические технологии и информация в ближайшей перспективе?
- Каковы должны быть масштаб и приоритеты наших космических проектов и, соответственно, уровень финансирования из бюджета и других источников?
- Какие пути взаимодействия украинских космических исследований и международных программ исследований и освоения космоса?
- Как отечественная КД сможет стимулировать инновационное развитие других отраслей?
- Какова перспектива развития отечественной космической индустрии при нынешних ее структуре и уровне технологий?

6.2. Новая парадигма современной космической деятельности и целеполагание в стратегическом управлении космической деятельностью

Ответы на вопрос на чем базируются национальные приоритеты в космосе, существенно различаются для начала космической эры, 80—90 годов прошлого века, и сегодняшнего периода. В нашу задачу не входит сравнительный анализ эпохи «холодной войны» и периода «индустриализации космоса». В предыдущих главах и в заключении к части I выделены те особенности современной КД, которые определяют содержание новой парадигмы КД.

Сформулированные положения — это интерпретация тех тенденций, которые следуют из анализа документов по космической

политике и стратегических планов национальных космических агентств и международных групп планирования. В общем виде цель современных космических стратегий разных стран может быть определена как *эффективное использование космических средств, технологий и информации в интересах решения национальных задач*. Конкретные программы предполагают декомпозицию этой задачи в соответствии с национальными приоритетами и актуальными задачами конкретного периода. Масштаб использования «космических» инструментов для решения национальных стратегических проблем в разных странах разный, как и значимость космического сектора экономики. Однако общее построение национальных космических стратегий находится в русле отмеченных тенденций, связанных общей парадигмой современной космонавтики. Остановимся кратко на трех характерных примерах.

Общая стратегическая цель космической стратегии США не изменяется в течение многих лет и состоит в обеспечении глобального лидерства США в космосе, которое должно достигаться безусловным первенством в нескольких выбранных направлениях и высоким уровнем во всех остальных [7, 8]. При этом стратегии в конкретных сферах КД изменялись достаточно часто в соответствии с решениями о том, каким образом заявленное доминирование будет достигаться. Так, в течение последних 20 лет космическая стратегия в области обороны и безопасности изменялась дважды (2004, 2011 годы), а в области космических исследований — не менее четырех раз. Так, в 1990-е годы Администратором НАСА Д. Голдином была выдвинута концепция «быстрее, дешевле, лучше», которая предусматривала реализацию большого числа недорогих автоматических миссий к телам Солнечной системы. При этом задача стратегии решалась обеспечением «виртуального присутствия человека в космосе». В 2004 году Президент Дж. Буш выдвинул концепцию «возвращения на Луну» с акцентом на пилотируемые полеты, строительство лунной базы как этапе последующей экспедиции на Марс. Согласно концепции Президента Б. Обамы приоритетным был технологический прорыв в средствах доставки, а конкретный облик космических миссий будет определен после завершения этапа разработок, связанного с миссиями к астероидам. Президент Д. Трамп провозгласил возвращение к лунной и марсианской программам как наиболее перспективным для концепции доминирования.

В документах европейской космической политики провозглашена главная цель деятельности в космосе — обеспечение конкурентоспособности ЕС на основе развития прорывных космических



Рис. 6.3. Космическая стратегия Канады

технологий [9–10]. При этом выработаны стратегии в ключевых направлениях. Так, в области изучения Земли из космоса — построение глобальной мониторинговой системы COPERNICUS (прежнее название GMES), в области навигации — построение глобальной навигационной системы GALILEO. Целью деятельности в каждом из направлений было решение фундаментальных задач европейской политики (повышение уровня жизни, обеспечение прав и свобод личности, укрепление европейского единства и т. д.).

На рис. 6.3 схематично показан пример другого масштаба: национальная космическая стратегия Канады [11]. На основании вербального описания целей, задач и направлений (SPACE VISION) выработана общая стратегия, состоящая из четырех стратегий по конкретным направлениям деятельности, на основании которых разрабатываются программы, а также обеспечивающая деятельность.

Для Украины стратегическая цель и направления деятельности сформулированы в космических программах и документах перспективного планирования [12, 13]. Однако формальное сходство с приведенными примерами ограничивается декларациями самого общего уровня. Направления и проекты, выполняемые

для достижения заявленной общей цели — это традиционные направления, которые развиваются с советских времен предприятиями космической отрасли. Собственно космические программы составлены как совокупность предложений предприятий во исполнение собственных планов (за очень редкими исключениями). Оставим в стороне вопрос об уровне и эффективности выполненных проектов, многие из которых обоснованы и успешны (см. главу 5). В данном контексте нас интересует вопрос о принципиальном отсутствии стратегического плана, нацеленного на осуществление национальных приоритетов, согласованного со всеми возможными потребителями и ориентированного на развитие.

Излишне обсуждать необходимость стратегии в общем, когда, не имея собственного плана, становишься субъектом чужого. Оценивая ситуацию с космической деятельностью Украины, стоит отметить некоторые специфические моменты. Во-первых, относительно плана, который по существу не является нашим собственным. Если обратиться к базовому принципу отношения западных партнеров к высокотехнологическим отраслям стран бывшего СССР (сформулирован в исследовании Британского института стратегических исследований в 1994 году [14]), то он кратко сводится к термину *incentivness* (что означает поощрение, способствование). Речь идет о ликвидации потенциала, который может представлять угрозу партнерам, и вовлечение нас в проекты, которые их заинтересуют. Этот план, как представляется, реализован, партнеры используют лучшее из наших заделов в интересах своих пользователей. Во-вторых, наша зависимость от РФ не только технологическая и кооперационная. Идеология практически всех проектов (унаследованных и развиваемых) традиционно исходила из российских центров. Поэтому проблема унаследованного потенциала это сегодня проблема того, что на самом деле представляет ценность для решения современных задач Украины. И, наконец, о международном сотрудничестве и евроатлантической интеграции. В течение многолетних переговоров на разном уровне так и не удалось обозначить проекты или направления, в которых конкретизировались бы декларации о вхождении в ЕКА или проекты глобального уровня. Более того, приостановлено участие в различных международных группах планирования [15], куда Украина была приглашена в конце 1990-х годов. Международные партнеры готовы понять трудности с финансированием, но не отсутствие собственной стратегии.

Выработка космической стратегии встречает серьезные трудности системного характера. В стране не выработаны общие под-

ходы к развитию высокотехнологических отраслей, инновационному развитию да и всей научно-технологической сфере. Поэтому определить приоритеты применения космических средств на основании действующих государственных концептуальных документов невозможно (исключение составляют, по мнению автора, Стратегия национальной безопасности [16] и Военная доктрина [17]). Кроме того, в Украине не сформировался круг пользователей космической информации и сервисов, а программы развития большинства отраслей игнорируют возможность применения космических средств, технологий и информации (либо такого рода документы отсутствуют). Тем не менее, это не означает, что выработка стратегии КД Украины должна быть отложена на неопределенное время. Фактически цель данной работы способствовать созданию соответствующих условий.

Следующим шагом на пути формирования стратегии должна стать декомпозиция общей (и совершенно очевидной в силу ее декларативности) цели КД. Напомним, что в последней из утвержденных программ эта цель формулировалась как «повышение эффективности использования космического потенциала для решения актуальных задач социально-экономического, экологического, культурного, информационного и научно-образовательного уровня общественного развития, обеспечения национальной безопасности и обороны, защиты геополитических интересов государства» [12].

На рис. 6.4 представлен вариант декомпозиции общей цели по пяти направлениям [18]. Это не регламентирующий документ, а ориентир, предписывающий лицам, принимающим решения (ЛПР), и экспертам учитывать относительную важность будущего эффекта от выполнения перспективных программ и проектов. Должно проводиться оценивание не деятельности вообще, а конкретных сценариев, которые далее рассматриваются. Таким образом, формируется срез выработки приоритетности, основанный на национальных интересах.

Этот срез, выработанный ЛПР или экспертами, должен быть дополнен взглядом «изнутри», т. е. совокупностью мнений специалистов о приоритетах национальной космической деятельности с точки зрения достигнутых результатов, потенциала, востребованности и конкурентоспособности конкретного направления. Такой анализ обычно представляют в виде аналитического обзора, в котором приоритеты формулируются, исходя из внутренней логики развития конкретных видов деятельности. Такого рода документ (SPACE VISION, видение КД в целом или конкретного направления) дает возможность лицам, принимающим решения, изучить аргументацию специалистов относительно перспектив конкретных направлений.

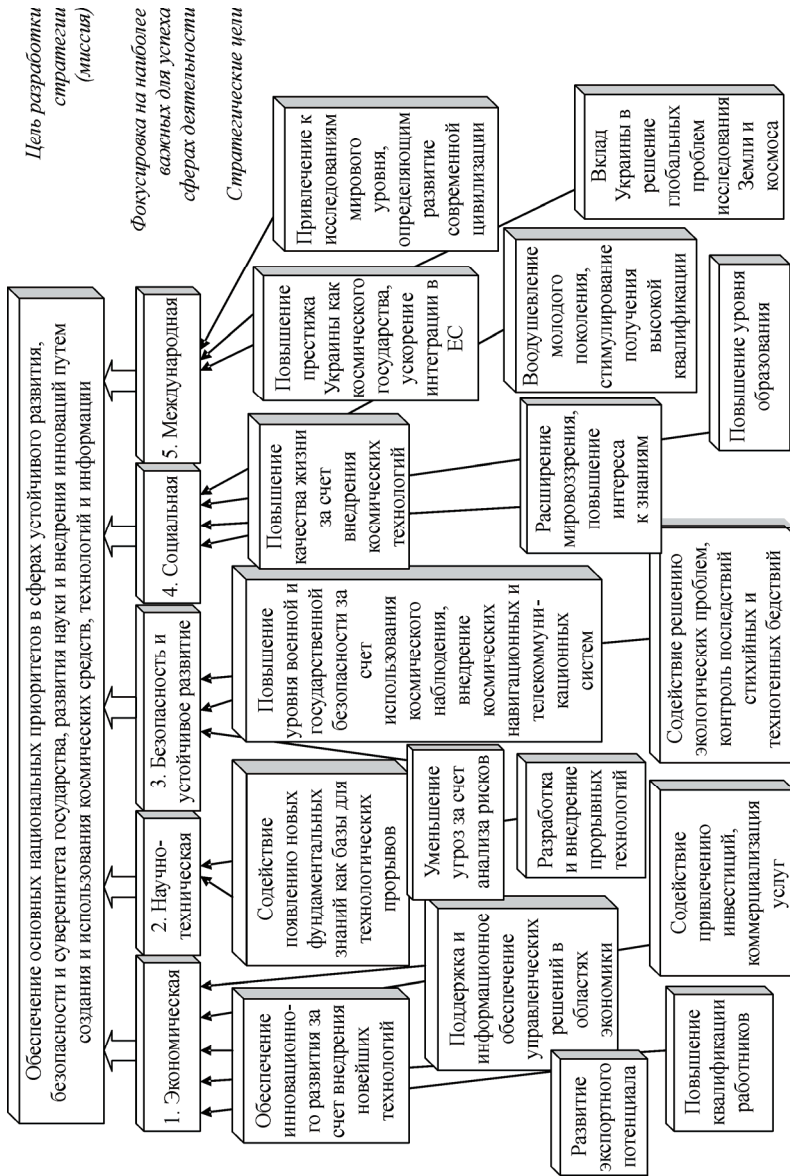


Рис. 6.4. Установление целевой ориентации космической деятельности (с точки зрения национальных интересов)

Представляется важной также общественная дискуссия относительно выбора приоритетных направлений и ожидаемых результатов. Это признано необходимым не только для учета мнений непрофессионалов, но и для разъяснения широкому кругу лиц конкретных преимуществ реализации космических программ. Отметим, что в США реализуются программы, которые имеют поддержку не менее 50 % граждан.

Интегрированное мнение экспертов имеет форму сценарного анализа; соображения о методах оценки сценариев (и проектов) рассматриваются в главе 7. Остановимся на некоторых особенностях стратегического управления и генерации сценариев как его важнейшего этапа.

6.3. Стратегическое управление космической деятельностью: основные подходы

Изложенное выше относится к выработке общих целей КД, точнее, к основаниям их формирования. Отметим, что в стратегическом управлении поставленные цели или ориентиры не есть нечто окончательно установленное, и дальнейшее управление сводится к формулировке задач их достижения. Различие между долгосрочным и стратегическим планированием состоит в трактовке будущего. В системе стратегического планирования экстраполяция заменена развернутым стратегическим анализом, который связывает перспективы и цели между собой и предполагает выяснение тех тенденций, опасностей, шансов, а также отдельных ситуаций, которые способны изменить сложившиеся тенденции. Из этого следует, что организация стратегического управления не сводится к наличию документа под названием «Стратегия» или стратегической организационной структуры; это непрерывный процесс взаимодействия различных типов управленцев и экспертов с целью практической реализации результатов стратегического анализа.

Процесс стратегического управления как движение от исходного состояния к новой модели деятельности активно разрабатывался и применялся в практике организации бизнеса (на мезоуровне, или уровне кооперативного управления) с середины 70-х годов 20 века. Для краткого пояснения взаимоотношения стратегии и определения целей и ориентиров, которое явилось результатом полученного опыта, обратимся к соответствующему резюме из базовой монографии И. Ансоффа [1] (автор рассматривает целеполагание отдельно от процесса стратегирования).

1. Процесс выработки стратегии не завершается каким-либо немедленным действием. Обычно он заканчивается установлением общих направлений, продвижение по которым обеспечит рост и укрепление позиций организации.

2. Сформулированная стратегия должна быть использована для разработки стратегических проектов методом поиска. Роль стратегии в поиске состоит в том, чтобы, во-первых, помочь сосредоточить внимание на определенных участках и возможностях; во-вторых, отбросить все остальные возможности как несовместимые со стратегией.

3. Необходимость в стратегии отпадает, как только реальный ход развития выведет организацию на желательные события.

4. В ходе формулирования стратегии нельзя предвидеть все возможности, которые откроются при составлении проекта конкретных мероприятий. Поэтому приходится пользоваться сильно обобщенной, неполной и неточной информацией о различных альтернативах.

5. Как только в процессе поиска открываются конкретные альтернативы, появляется и более точная информация. Однако она может вызвать сомнение в обоснованности первоначального стратегического выбора. Поэтому успешное использование стратегии невозможно без обратной связи.

6. Поскольку для отбора проектов применяются как стратегии, так и ориентиры, может показаться, что это одно и то же. Но это разные вещи. Ориентир представляет собой цель, которой стремится достичь фирма, а стратегия — средство для достижения цели. Ориентиры — это более высокий уровень принятия решений. Стратегия, оправданная при одном наборе ориентиров, не будет таковой, если ориентиры организации изменятся.

7. Стратегия и ориентиры взаимозаменяемы как в отдельные моменты, так и на разных уровнях организации. Некоторые параметры эффективности (например, доля рынка) в один момент будут служить фирме ориентирами, а в другой — станут ее стратегией. Далее, поскольку ориентиры и стратегии вырабатываются внутри организации, возникает типичная иерархия: то, что на верхних уровнях управления является элементами стратегии, на нижних превращается в ориентиры.

Для характеристики стратегического управления космической деятельностью приведенных обобщений из бизнес-среды недостаточно. Эффективность КД определяется не только экономическими результатами, а объектом стратегии КД является не только космическая индустрия. Политические императивы (и не

только они) влияют на содержание стратегического управления. Существуют по крайней мере несколько теорий стратегирования, на которых не будем останавливаться (описательная теория Сунь-Цзы и его последователей, теория игр Джона фон Неймана, Джона Нэша, теория конфликтующих структур Лефевра, теория развития Щедровицкого, теория контрафлексивного стратегирования С. Дацюка). Смысл этих подходов состоит в том, что рассматривается ситуация столкновения стратегий, т. е. стратегия предполагает стратегического соперника или соперников. Иной подход отбрасывает нас к ситуации долговременного планирования, которая к выработке стратегии прямого отношения не имеет. При этом ситуация столкновения стратегий может быть описана различными способами: на одном и том же теоретическом языке, что и у стратегического соперника, или в новой теории на новом языке по отношению к сопернику (во втором случае больше шансов его переиграть). Такой подход, характерный для теории игр, фиксирует ситуацию, когда результат ваших действий зависит не только от вас, но и от действий конкурентов.

С этой точки зрения конкретизируется вопрос о характере изменений, которые предполагает стратегия: прорыв или постепенность, революция или эволюция. Для космической деятельности одним из главных факторов, определяющих прорывность стратегии, является инновационная направленность. В связи с этим отметим ее отличие от стратегии внедрения, которая основана на представлении об известной с советских времен триаде: наука — техника — производство. За словами о внедрении и инновациях стоят две принципиально разные модели обновления. В центре стратегии внедрения само новшество — открытие, технология: если оно есть, то вопрос только в организации процесса. В отличие от этого, инновационная деятельность предполагает создание образцов современности и соответственно предполагает не идеологию усовершенствования, а идеологию развития. Создание этих образцов — субъектов инновационного развития — проблема весьма сложная: если нечто новое привносится в сложившуюся систему, то последняя либо отторгает новшество, либо перестраивается. Такой субъект не формируется сам по себе, а выработка механизмов его создания и есть центральная задача реализации инновационной стратегии. Представляется, что проблема инновационности стратегии для украинской КД — одна из центральных.

Третий аспект, который разработан в упоминавшихся теориях стратегирования и представляется важным для стратегического

управления КД, связан с представлениями о типах и уровнях стратегии. Тип стратегии, которая предлагается для воплощения, должен соответствовать уровню, в котором находится система. Для политической стратегии эту проблему анализировал С. Дакцок [5]. Если мы находимся в позиции некооперативных стратегий (с точки зрения теории игр все стратегии уровня, меньшего 0, являются некооперативными), то предлагаемые стратегии более высокого уровня являются фиктивными, т. е. такими, которые не могут быть применены в принципе на более низких уровнях. Фиктивные действия создают стратегический дисбаланс, что намного хуже, чем просто отсутствие стратегии. Этот аспект указывает на важность аналитической оценки того уровня, на котором находится наша КД и который налагает ограничения по предлагаемым стратегиям.

6.4. Стратегическое управление и сценарный анализ

Изложенное в п. 6.3 относится к исходным положениям, ориентирам разрабатываемой стратегии, т. е. к тем соображениям и ограничениям, которые эксперты кладут в основу разрабатываемой стратегии. Практическая деятельность, которую можно «пощупать» и оценить, начинается с выработки сценариев и их анализа. На основании выбранного сценария (сценариев) разрабатывают дорожную карту достижения целей. Сценарный анализ активно развивался в конце 70-х годов прошлого столетия и активно применяется в практике управления крупными компаниями, в первую очередь энергетического сектора [1]. Серьезные потрясения на рынках нефтепродуктов в 1980-е годы вызвали поиск эффективных методов планирования в условиях шоковых изменений внешних обстоятельств. Обширная литература по многочисленным методам сценарного анализа как составной части стратегического управления (в частности, ссылки в работах [19—22]) свидетельствует о том, что не существует единственного общепринятого подхода к проблеме. В контексте нашего рассмотрения попытаемся выяснить, какие из развитых идей можно использовать при сценарном анализе такой сложной и трудноформализуемой проблемы как космическая деятельность.

Выделяют три основных этапа выработки сценария: 1) анализ проблемы для конкретизации постановки задачи, введение ограничений и структуризация проблемы; 2) системный анализ поставленной проблемы для ее представления в виде взаимосвязанных

динамических подсистем, связанных с ее внешней средой (при этом предполагается идентификация характеристических факторов, влияющих на каждую из подсистем); 3) заключительный процесс синтеза на основе определения взаимозависимости между влияющими факторами, который устанавливает логический и систематический способ сканирования диапазона возможных сценариев для выбора основных или их сбалансированного сочетания.

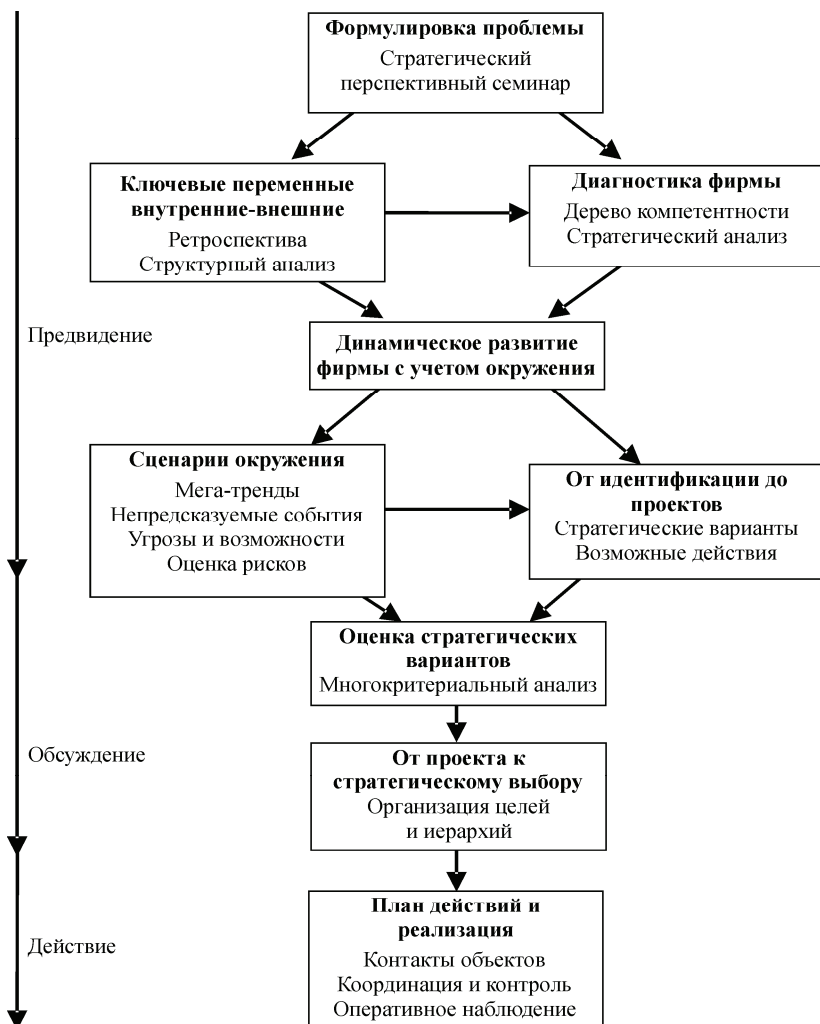


Рис. 6.5. Планирование сценария: схема процесса [20]

Общая процедура иллюстрируется схемой на рис. 6.5 из работы [20], которая охватывает всю последовательность шагов — от формулировки проблемы до выработки стратегического выбора и определения плана действий. При этом может быть два разных подхода к формулировке будущего состояния. Один базируется на прогнозировании будущего на основе вчерашних и сегодняшних тенденций, другой — на желательном (или наоборот, нежелательном) прогнозе. Первый вариант уже обсуждался выше в связи с различием стратегического управления и долговременного планирования.

Важным моментом является то, что ход выполнения описанной процедуры в принципе важнее, чем результат. Действительно, результатом сценарного анализа и построения «дорожной карты» действий является схема — многоуровневая, развернутая во времени и содержащая разнородные элементы. Элементами схемы могут быть сформулированные цели, действия, результаты анализа и оценки. Процесс конструирования элементов и составление схемы — это создание плана реализации тех действий, которые необходимо предпринять для достижения поставленных целей. Поэтому основная, идеологическая часть работы спрятана в готовых формулировках элементов схемы. В свою очередь, эти формулировки могут быть получены только в процессе прогнозирования, основанного на определенной методологии. Таким образом, уровень построения дорожной карты — это уровень практического воплощения прогнозных оценок сценарного анализа относительно элементов системы, их взаимодействия, влияния внешней среды и управляющих воздействий.

Среди известных методов, применяемых в технологическом прогнозировании, отметим важные для анализа КД особенности метода морфологического анализа. По существу, он представляет собой метод идентификации, который исследует полный набор возможных отношений, содержащихся в многомерной проблеме [23]. Рассматриваемая система разбивается на подсистемы (компоненты). При этом выбор компонентов имеет решающее значение и требует серьезного осмысления, которое может быть основано на результатах анализа проблемы (например, с помощью мозгового штурма). Каждый компонент может принимать несколько конфигураций (состояний). Конкретный сценарий характеризуется выбором определенной конфигурации для каждого из компонентов. Может существовать множество сценариев, которые отражают комбинации различных конфигураций. Все эти комбинации представляют собой область возможностей, которые и составляют морфологическое пространство.

Таблица 6.1. Пример генерации возможных сценариев КД

Сценарий	Приоритетные цели	Позитив	Негатив
Приоритетное развитие средств выведения (индустриальный)	<ul style="list-style-type: none"> • освоение определенного сектора рынка запусков; • модернизация РН, разработка новых РН; • участие в международном сотрудничестве в области предоставления пусковых услуг; • исследование и разработка приборов, систем, технологий для перспективных изделий РКТ и на экспорт; • внедрение приборов, технологий и материалов в другие отрасли 	<ul style="list-style-type: none"> • инвестирование направлений, которые уже востребованы на рынке; • поддержка высоких технологий безопасности и обороны; • обеспечение высококвалифицированной рабочей силы; • имидж космической державы; • вклад в экспортный потенциал страны 	<ul style="list-style-type: none"> • трудности на рынке запусков, находящемся в стадии стагнации; • необходимость вложения крупных средств в долгосрочные проекты; • отсутствие собственных задач в космических исследованиях может привести к стагнации целой отрасли
Создание системы космического мониторинга (ДЗЗ)	<ul style="list-style-type: none"> • обеспечение непрерывной спутниковой информации в интересах экологии и управления отраслями экономики; • повышение уровня безопасности обороны; • участие в выполнении международных программ (климатические изменения, глобальное потепление и т. д.); • развитие внутреннего рынка ГИС технологий 	<ul style="list-style-type: none"> • решение актуальных проблем экологии, экономики и безопасности на принципиально новом уровне; • сотрудничество со странами ЕС в направлении, которое является приоритетом европейской и международной космической политики; • возможность двойного использования спутниковых данных; • развитие направления, которое имеет большие наработки 	<ul style="list-style-type: none"> • трудности, связанные с конкуренцией на развитом рынке ДЗЗ; • межотраслевая несогласованность в политике использования данных ДЗЗ и ГИС технологий; • неподготовленность пользователей и непонимание управленцами необходимости спутниковых данных
Научные космические исследования. Участие в международных научных программах (научный)	<ul style="list-style-type: none"> • вхождение в международные престижные проекты (Exploration, Auroga); • ускорение присоединения к ЕКА; • разработка прорывных технологий, приборов, информационных систем; • двойное использование новых разработок в интересах других отраслей, безопасности и обороны; • осуществление исследовательских проектов в рамках молодежных программ 	<ul style="list-style-type: none"> • мощное воздействие на общий научно-технический уровень страны; • политические дивиденды от международного сотрудничества; • привлечение молодежи в высокотехнологические отрасли; • поощрение молодого поколения к участию в прорывных научно-технических разработках 	<ul style="list-style-type: none"> • сужение использования собственной промышленной базы; • трудности адаптации к требованиям международных проектов; • недостаточный имеющийся потенциал и опыт; • долгий срок получения проектов

Следует упомянуть также важную характеристику метода Field Anomaly Relaxation, FAR (метод сглаживания аномалий), который дает возможность в случае большого количества разнородных подсистем выбрасывать заведомо неприемлемые, внутренне противоречивые (аномальные) сценарии.

В табл. 6.1 приведен пример того, как мог бы выглядеть промежуточный результат генерации сценариев космической деятельности Украины. Отметим, что указанные в таблице три варианта сценариев не являются результатом применения известных методик, работы экспертов или аналитических исследований. Приводится пример того, как, по мнению автора, может выглядеть один из этапов стратегического управления, необходимый для дальнейшего оценивания. При этом предполагается, что выполнены следующие условия:

1. Группы экспертов определили (на основе системного анализа текущего состояния и желаемой модели будущего) три возможных приоритетных направления деятельности, которые далее будут оцениваться с использованием полного набора критериев, одобренных для дальнейшего оценивания (см. главу 7).

2. На этапе генерации сценариев сформулированы приоритетные результаты, которые предполагается достигнуть в результате воплощения сценария.

3. Сформулированы также предварительные оценки преимуществ и проблемных вопросов, что необходимо для конкретизации последующего оценивания сценариев.

4. В выбранных сценариях некоторое направление выделяется в качестве приоритета, что не означает игнорирование прочих направлений. Однако контекст, в котором оценивается то или иное направление деятельности, определяется вероятностью достижения главной цели.

*В действительности все не так,
как на самом деле.*

С.Е. Лец

7.1. Введение

Оценивание эффективности космических программ следует рассматривать как составную часть системы стратегического управления космической деятельностью Украины (см. рис. 6.1), сферы, методология которой до сих пор не разработана, а ее необходимость не до конца осознана субъектами управления.

Реализация современной космической политики предполагает оценивание эффективности разрабатываемой программы. Причем оценивание предшествует ее воплощению и выполняется специализированными структурами с применением сложных методических разработок. Так, реализация масштабной европейской программы COPERNICUS (прежнее название GMES) осуществляется на основе изучения последствий ее выполнения для различных отраслей экономики Европы на период до 2030 года [1]. Разрабатываемая ведущими космическими агентствами долгосрочная программа исследований космического пространства [2] содержит специальный документ, в котором сформулированы социально-экономические выгоды от такой программы (см., например, [3]). Современную методологию оценивания эффективности космических программ активно разрабатывают несколько научных центров (см., например, ссылки в работе [4]). Такое значение методически выверенного оценивания эффективности космических программ можно связать с парадигмой современной космической деятельности, которая ориентирована на интересы широкого круга потребителей и общенациональные задачи. Во всяком случае этот тезис является ключевым в стратегических документах ведущих космических держав

(см., например, [2]). Политически мотивированные или имиджевые решения, разумеется, имеют место в практике управления, но их следует считать скорее исключениями, подтверждающими общее правило.

С учетом такого подхода к программной деятельности государственные органы при рассмотрении бюджетных запросов космических агентств часто не только не уменьшают запланированные расходы, экономя деньги для «земных» нужд, а наоборот, выделяют дополнительное финансирование на основе собственных представлений об эффективности космических программ. Характерным примером может служить решение Конгресса США о бюджете НАСА на 2016 год. Законодатели решили, что научная часть программы может быть выполнена при условии выделения дополнительных средств в размере \$1,3 млрд (при этом общее финансирование достигло рекордного уровня в \$19,3 млрд [5]).

В Украине подходы к оцениванию космических проектов разрабатывались, в частности, в работах ([6—12]). Отметим, что общие требования к выполнению заданий Общегосударственной (национальной) космической программы содержат положения об оценке эффективности при составлении итоговых отчетов. Однако практика составления официальных отчетов и идеология, заложенная в них, существенно отличаются от упомянутых зарубежных примеров и носят скорее формальный характер. Главное отличие состоит в том, что оценивание эффективности не является этапом процесса принятия решений, анализа возможных сценариев и путей достижения поставленных целей. Поэтому задачи космических программ слабо согласованы с общими задачами научно-технического и экономического развития страны и формулируются на основе рекомендаций специалистов, а выделенное финансирование неочевидным образом связано с содержанием запланированных работ. Такое положение является следствием общего состояния долгосрочного целеполагания и стратегического планирования органами госуправления, а также невысокой приоритетности программ высокотехнологического и инновационного развития.

Определение путей достижения целей, принципов и критериев оценивания существенным образом опирается на национальные приоритеты, учитывает собственный научно-технический уровень, параметры космической индустрии, а также интегрированность в систему международного разделения труда. Поэтому методология

оценивания, как и практика стратегирования в области КД, не могут быть позаимствованы у других стран.

Настоящее рассмотрение ограничивается сферой космических программ, т. е. речь идет о тех выгодах, которые получают пользователи и общество в целом в результате выполнения национальной космической программы. При этом родственные понятия производственной эффективности (или эффективности предприятий), эффективности управления, эффективности создания космической техники и некоторые другие виды эффективности не рассматриваются, хотя и имеют очевидные связи с оценкой социально-экономической эффективности космической программы. Такой подход реализует оценивание с точки зрения требований внешней по отношению к КД среды и отражает современные требования к космической деятельности.

7.2. Об оценке эффективности различных типов государственных программ

Государственные космические программы объединяют множество разнородных видов деятельности, поэтому их эффективность может рассматриваться с различных позиций. Так, в Украине космическая программа является общегосударственной, при этом бюджетное финансирование может выделяться на госзаказ по изготовлению техники, подготовку кадров, поддержку наземной инфраструктуры; однако эта программа является научно-технической; кроме того, она предусматривает выполнение инвестиционных проектов [13—15]. Для дальнейшего изложения целесообразно обозначить используемые подходы к формированию и оцениванию эффективности таких программ.

Бюджетные программы. Наибольшее количество известных методов разработано в сфере бюджетных программ различного уровня (общегосударственных, региональных, отраслевых и др.). Такие программы характерны для стран СНГ и имеют сходную идеологию. Под эффективностью понимают отношение количества и качества услуг (или, более широко, продукции) к уровню затрат бюджета. При этом уровень проведенных работ по данной программе оценивают методами экспертизы или сравнения с другими аналогичными программами. В качестве экспертов, как правило, выступают представители органов госуправления, которые заказывали программу. К основным типам таких программ следует отнести социально-экономические, региональные, а так-

же отраслевые в таких сферах как образование, информатизация, развитие туризма и т. п. Основная цель оценивания в данном случае — дать обобщенную картину результативности, выраженную в натуральных показателях. При этом выполняется анализ расходования бюджетных средств и делаются выводы относительно их целевого использования и возможности экономии (на последующих этапах). Кроме того, выделяют бюджетные программы, эффект которых оценивается аналогично коммерческому эффекту инвестиционных программ.

Инвестиционные программы. Основными показателями эффективности инвестиционных программ являются эффективность вложенных инвестиций и период их окупаемости. Интегральный экономический эффект по такой программе определяется величиной чистого дисконтированного дохода. Дисконтирование затрат и результатов — это приведение их разновременных значений к их ценности на определенный момент времени. Норма дисконта обычно определяется разработчиком программы. Такой подход ориентирован исключительно на финансовые последствия реализации программы или проекта, а соответствующие показатели выражаются через денежные потоки. Методы оценки эффективности инвестиционных проектов для предприятий или отраслей часто основываются на сравнении эффективности (прибыльности) инвестиций в различные проекты (при этом альтернативой вложения средств служат финансовые вложения в другие производственные объекты, помещение финансовых средств в банк под проценты или их обращение в ценные бумаги). Для государственных инвестиционных программ украинское законодательство предусматривает [16] обязательную оценку экономической и социальной эффективности. В то же время соответствующие методики основываются на экспертных методах, а многочисленные аналитики указывают на необходимость совершенствования методологии.

Научно-технические программы являются основным способом реализации исследований и разработок в приоритетных направлениях, определенных государством. При этом оценивание основывается на ожидаемой эффективности потенциальных инноваций на каждой из стадий их жизненного цикла — научных исследований, проектно-конструкторских разработок, создания опытных образцов, их испытания и внедрения в производство. Научно-техническая эффективность результатов прикладных научно-исследовательских работ определяется с помощью показателей

научно-технического уровня (сравнение с мировыми аналогами) в комплексе с оценкой их экономической и социальной эффективности [17]. Социальный эффект должен отражать, в частности, изменение характера и условий труда, повышение жизненного уровня, улучшение бытовых условий, расширение возможностей духовного развития личности, изменение состояния окружающей среды и некоторые другие. Изложенное относится к программам, разрабатываемым на постсоветском пространстве.

В США такого рода деятельность имеет характер общенациональных инициатив, причем исследования и разработки ориентированы на достижение прорыва в значимых для национальной экономики направлениях (таких как Национальная стратегическая инициатива в области компьютерных наук, NSCI, Национальная инициатива в области нанотехнологий, NNI). Развертыванию работ в рамках национальных инициатив предшествует длительный период успешных фундаментальных исследований, а сами работы направлены на их практическое воплощение. Кроме финансовой поддержки государства предусматриваются существенная (иногда решающая) роль частной инициативы и разнообразие механизмов поддержки инноваций.

В Европе базовым механизмом научно-технического развития служат Рамочные программы — РП-6, РП-7, Горизонт-2020, разрабатываемая РП-9, которые аккумулируют значительные средства (РП-7 — 52 млрд евро, Горизонт-2020 — 80 млрд евро) для широкого спектра исследовательских программ (космос входит в десятку приоритетных направлений РП-9). С точки зрения применяемой методологии оценивания эффективности отметим следующую особенность. Отбор проектов, их конечная оценка и решение о продолжении работ основываются на заключениях экспертов. В то же время эти оценки выставляются в соответствии с тщательно выписанной системой требований, ограничений и приоритетов. При этом детальные требования формулируются на начальном этапе конкурсов теми же специалистами, которые могут стать как получателями грантов, так и экспертами. Объективность, по мнению организаторов, обеспечивается широким кругом привлекаемых специалистов и перекрытием их сфер экспертизы (так, в области наук о микрогравитации в 2015 году было 130 таких экспертов, в области наук о жизни — более 200) [18, 19].

Оцениванию эффективности научно-технических работ посвящена обширная литература [1, 4, 6, 9, 10, 17, 20], причем наряду с вербальным оцениванием в последнее время отмечается применение новых экономических аспектов теории принятия

решений, включающих экономико-математическое моделирование, эконометрику и статистику [1, 4, 9, 21, 22]. Для анализа эффективности научных и технологических процессов используют совместно различные варианты наукометрических и экспертных методов [23], хотя их ограничения, в частности для космической деятельности, очевидны. В последнее время активно разрабатывается такой аспект эффективности производства научного знания и технологий как взаимодействие научной и инженерной среды и их взаимоотношения с потребителями. Взгляд социолога на проблему воплощения научного знания отражает введенное в [24] понятие «технонауки», относящееся к этапу, который весьма трудно оценить количественно, но определяющему сферу, на которую тратится большая часть (до 90 %) средств научно-технических программ.

7.3. О вербальном оценивании международных космических программ

Рассмотрение результатов международных космических программ, зафиксированное в согласованных документах, как правило, ограничивается вербальным уровнем. Это связано не только со сложностью оценивания, но и с различием методических подходов в разных странах. В то же время соответствующие документы не сводятся к набору деклараций, очевидно речь идет о полном описании эффектов, которое бы удовлетворяло правительственные органы разных стран-участников. Это касается проектов исследования и освоения космоса, когда не рассматривается эффект прикладных и коммерческих применений. Наиболее характерный и тщательно отработанный документ такого рода разработан Международной группой по стратегическому планированию космических исследований (ISPG) [3], он зафиксировал согласованный подход ведущих космических агентств к оценке космических проектов.

Резюме подхода, согласованного ведущими космическими агентствами мира, сводится к следующему. Выделены две основные группы эффективности. К прямым эффектам относят: новые знания, повышение национального технического потенциала, превращение инноваций в новые средства, увеличение производительности труда в космосе, создание рынков космических продуктов и услуг, укрепление международного сотрудничества. Кроме того, выделены косвенные эффекты: влияние на экономическое развитие, улучшение здравоохранения, решение про-

блем экологии, вклад в обеспечение безопасности и обороны. Другой срез социально-экономической результативности отражает сферы деятельности, на которые оказывают влияние космические исследования, а именно инновации, культура и духовность, новые средства для решения глобальных проблем. Здесь речь идет о создании принципиально новых возможностей, которые нельзя оценить количественно, а предполагаемый эффект относится к будущему. Кроме такого качественного описания эффектов приводится перечень технологических достижений, которые уже получены в ходе международных программ: усовершенствование солнечных батарей, сердечных имплантатов, противораковой терапии, аккумуляторных устройств, жаропрочных сплавов, используемых в турбинах реактивных двигателей, камер современных сотовых телефонов, компактных систем очистки воды, поисково-спасательных систем и биомедицинских технологий и т. п. Этот список дополняется перечнем направлений, в которых ожидаются прорывные технологические решения и инновации: миниатюризация аппаратуры; увеличение срока службы и надежности работы систем в космосе; снижение пусковых затрат; повышение мощности двигателей; создание легких и эффективных солнечных батарей; легкие конструкции; устройства хранения данных с более высокой емкостью.

К прямым выгодам международных программ и проектов относят эффект, связанный с укреплением международного сотрудничества. Этот кажущийся декларативным пункт является предметом серьезного анализа экспертов. С точки зрения американских аналитиков [25] эффект имеет несколько составляющих. Во-первых, экономическая составляющая, связанная с распределением затрат между партнерами, а также с использованием принципа определенной программной избыточности, что снижает стоимость благодаря обеспечению более высокой надежности. Во-вторых, эффект политической стабильности и использование проектов в качестве дипломатического инструмента для реализации влияния так называемой «мягкой силы». Отмечаются также влияние на стабильность трудовых ресурсов, внедрение набора международных промышленных стандартов, что может быть высокорезультативным для развития свободного рынка космических услуг.

Следовательно, международное сотрудничество может обеспечить преимущества на основе использования принципа, определенного программой.

7.4. Краткий анализ подходов к оцениванию эффективности космических программ

В общем случае понятие эффективности означает соотношение результатов некоторой деятельности и затрат труда и ресурсов, связанных с достижением этих результатов. Поэтому эффективность является величиной относительной в отличие от экономического эффекта, который оценивают в абсолютных единицах.

В русле концепции Парето эффективность в экономической науке часто рассматривают не как соотношение, а как состояние социально-экономической системы. Эффективное (или оптимальное) состояние по Парето — это состояние экономической системы, при котором значение каждого частного показателя, характеризующего систему, не может быть улучшено без ухудшения других. В экономике ситуация, когда достигнута эффективность по Парето, считается ситуацией, когда все выгоды от компромисса частных показателей исчерпаны. Парето-эффективность предполагает соблюдение трех условий: эффективность в сфере производства, в структуре размещения ресурсов, в распределении благ между потребителями и является одним из центральных понятий современной экономической науки. Подход Парето имеет очевидные ограничения, предполагая стихийность достижения оптимума посредством рыночных механизмов и оставляя вне рассмотрения социальный аспект, т. е. потребности и интересы граждан, среди которых распределяются блага.

В пределах нашего исследования необходимо сделать вывод о том, что даже простая и идеализированная модель экономической системы рассматривает эффективность как достаточно сложное понятие. Его описание требует совокупности разнородных критериев, отражающих сущность эффективности, а также показателей для измерения и сопоставления эффективности оцениваемых объектов в соответствии с ее критериями.

Экономическая результативность космических программ привлекала внимание исследователей с начала космической эры. Поскольку освоение космоса с точки зрения экономики означает привлечение нового ресурса, естественно оценивать его экономическое значение. Одна из самых популярных идей колонизации космоса, выдвинутая профессором О'Ниллом в 1976 году (т. н. цилиндры О'Нилла [26]), предполагала создание самообеспеченного поселения, размещенного на стабильной орбите между Землей и Луной (в точке Лагранжа L5). Это одно из первых по-

следовательных описаний космического поселения, используемого для производственной деятельности человека, которое продолжает служить в качестве модели для последующих проектов. Показателен сравнительный анализ этого проекта и проектов использования космических технологий для земных нужд, осуществленный в фундаментальной работе [27]. Т. Сандер и В. Шульце сравнили этот проект, а также два других проекта освоения дальнего космоса (космическая энергетика и космическое материаловедение) с проектами космических телекоммуникаций, военных применений и научных исследований. В расчетах использовали экономико-математическую балансовую модель (input-output analysis), характеризующую связи между выпуском продукции в одной отрасли и затратами всех участвующих отраслей. В этой, по всей видимости, первой последовательной экономической оценке космических проектов сделан вывод о большей экономической эффективности второй из упомянутых групп проектов.

Среди других распространенных методов экономического анализа космических программ отметим микроэкономический анализ, предполагающий оценку внедрения конкретных технологий; макроэкономическое моделирование (предсказание долгосрочных факторов влияния на рост производства); методику анализа доходов и расходов (cost-benefit analysis) — системный подход к оценке сильных и слабых сторон альтернатив, которые удовлетворяют функциональным требованиям для данной отрасли. По мнению автора обзорной работы [4], все использовавшиеся методы анализа экономической эффективности не дают надежных результатов, вызывая серьезные дискуссии относительно их интерпретации. Так, микроэкономический анализ дает весьма завышенные оценки эффективности некоторых конкретных внедренных технологий (обсуждается эффект от внедрения тефлона), оправдывая расходы на дорогостоящие миссии. Важным ограничивающим моментом является положенная в основу всех указанных методик «линейная модель» инноваций, которая неприменима в современной экономике.

Учитывая эти замечания, вряд ли можно полагаться на популярную и часто цитируемую оценку программ НАСА, полученную исследовательским институтом Среднего Запада (Midwest Research Institute, MRI) [20]. В отчете утверждается, что каждый доллар, вложенный в исследования и разработки НАСА в течение 1950—1969 годов, дал к 1987 году в среднем 7 долл. увеличения ВВП США.

7.4. Краткий анализ подходов к оцениванию эффективности...

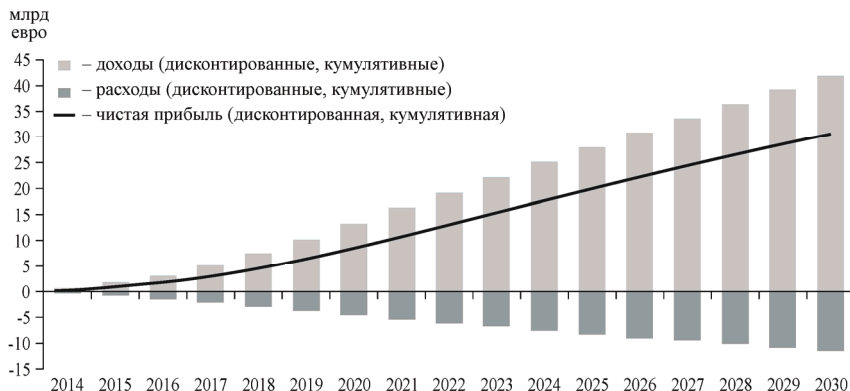


Рис. 7.1. Прогнозная оценка эффективности программы COPERNICUS [1]

Анализ открытых источников по обсуждаемой теме позволяет заключить, что в настоящее время многие космические агентства и правительственные органы при планировании больших программ ориентируются на макроэкономические прогнозные оценки. Характерным примером может быть исследование прогнозной эффективности европейской программы наблюдения Земли COPERNICUS, выполненное по заказу Еврокомиссии [1]. Это масштабное многостадийное исследование основано как на анализе статистической информации, так и на конкретной работе с представителями отраслей, которые прямо или косвенно используют (или будут использовать) продукцию программы. При этом впервые проанализированы различные уровни развертывания и внедрения инфраструктуры и сервисов COPERNICUS (рассмотрены 4 сценария). Дана прогнозная оценка эффективности программы, основанная на экономическом анализе потенциальных прибылей десятков отраслей в период 2014—2030 годов (рис. 7.1).

В сценарии полномасштабного развертывания системы авторы [1] дают интервал значений эффективности (отношения доходов к расходам) от 1,9 до 5,4 (в зависимости от закладываемых условий состояния экономики). Один из выводов этого исследования состоит в том, что максимальная эффективность программы достигается при максимальном внедрении космической инфраструктуры в различные отрасли, а наибольший эффект проявляется при длительном использовании сервисов (т. е. ближе к 2030 году).

Остановимся на важном методологическом аспекте этого исследования, который касается вопроса о выборе тех сфер, для кото-

рых проводились расчеты. В работе [1] общий эффект рассчитывался на основе суммарного дисконтированного дохода некоторой выборки отраслей, а их перечень и относительная значимость определялись, исходя из приоритетов современной политики ЕС. Кроме того, оценивался и непрямой вклад в эффективность на основе методик других авторов. Таким образом, принципиальным моментом методики оценивания эффективности стал не только метод подсчета денежного выражения доходов определенных отраслей, но и выбор собственно сферы оценивания.

Этот аспект методологии оценивания эффективности является сегодня одним из главных объектов изучения. Так, в работах [28, 29] рассматривается классификация типов влияния космических программ. В обобщенном виде их можно представить следующим образом: прямые эффекты возникают вследствие продажи продукции и сервисов, которые напрямую связаны с целью космического проекта; косвенные эффекты обусловлены выполнением таких проектов, но не планировались заранее (например, spin-off-технологии, разработанные для космоса и внедренные в другие отрасли); социальные эффекты, влияющие на общество в целом (экономический эффект от которых оценить весьма трудно). В табл. 7.1 представлена трактовка этих понятий из работы [29], иллюстрирующая различные виды эффектов.

Таблица 7.1. **Виды социально-экономической эффективности**

Вид	Категория	Характеристика выгоды	Примеры
Прямые выгоды	Космос как фактор, дающий уникальные возможности	Без данной технологии эффект невозможен принципиально	Глобальная навигация, прямое телерадиовещание (direct TV)
	Космос как вспомогательный фактор	Некоторые космические технологии повышают качество жизни, удешевляют производство	Прогноз экстремальных погодных явлений, контроль морского льда, точное земледелие и др.
Непрямые выгоды (spin-off)		Эффект как результат применения космических технологий к земной деятельности (не предусматривалось при разработке космического проекта)	МРТ-сканеры, имплантируемый дефибриллятор, лапароскопия, системы фильтрации для очистки воды
Социальные и нематериальные выгоды		Не измеряются количественно (информирование общественности, политические дивиденды, международный авторитет)	Национальный престиж, понимание природы климатических изменений; уникальные открытия (телескоп Хаббла)

В целом можно отметить возрастающий интерес космических агентств и государственных органов к проблеме оценки эффективности КД, увеличивающееся количество публикаций, а также научных центров, занимающихся данной проблемой. При этом, как следует из приведенного краткого обзора, мы еще далеки от выработки основ аналитической методологии (превалируют вербальные описания), а количественные методы относятся к частным проектам. Все это связано с очевидной сложностью объекта исследований, трудностью формализации моделей, недостаточной методологической проработкой. Между тем, практическая необходимость разработки и применения аналитической методологии оценивания собственных космических программ, проектов, возможных сценариев космической деятельности актуализирует исследования в этой области.

7.5. О подходе к процедуре оценивания

Выработку методологии оценивания КД для подготовки плановых решений по ее развитию рассматриваем как аналитический иерархический процесс, включающий согласованные и взаимосвязанные составляющие: концептуальную, методическую, математическую. Сформулируем концептуальные принципы ее построения с учетом состояния проблемы, кратко изложенного в п. 7.4, а также современной парадигмы космической деятельности.

- Анализ эффективности космической деятельности проводится на различных уровнях. Во-первых, рассматривается соответствие целей КД общегосударственным задачам и ценностным нормам на конкретном этапе общественного развития. Во-вторых, рассматривается целевая эффективность, т. е. оценка деятельности с точки зрения достижения поставленных в космической программе целей; важнейшим элементом является анализ с точки зрения соотношения затрат и результатов (экономическая составляющая).

- Цели и задачи космической деятельности подчинены национальным приоритетам, а цели космических программ являются функциями целей государственной политики в экономической, научно-технической, военной сферах, безопасности и обороны, устойчивого развития.

- Анализ эффективности КД на указанных уровнях оценок, а также планирование космической деятельности — составная часть общей задачи управления, которая включает разработку планов, оценку результативности работ и контроль их выполнения.

- Анализ проектов, программ, сценариев КД и выбор наиболее эффективных вариантов реализуются на основе выработки критериев, отражающих сущность эффективности, а также показателей, которые служат средством измерения и сопоставления эффективности в соответствии с критериями.

Сформулированные принципы отражают не только общие подходы к формированию современных космических программ, но и рассматривают анализ эффективности как составную часть процесса управления. При этом полагается неправомерным подход, согласно которому есть некая утвержденная программа либо стратегия, и следует только рассчитать эффективность мер по ее достижению. Принципиально важна также оценка соответствия ее целей общенациональным задачам и общественным потребностям.

Выбор путей достижения поставленных целей и соответствующих им приоритетов космической деятельности предполагает выбор наиболее эффективного варианта из ряда возможных альтернативных. Для этого необходимо построить правило количественного сравнения оцениваемых альтернатив по комплексу разнородных критериев, что возможно путем формализации рассматриваемой задачи на основе адекватной методической и математической платформы. С позиций системного анализа КД можно классифицировать как «большую» систему, многоуровневый и многосвязный объект исследований. Космическая деятельность направлена на достижения многих целей, в результате естественным образом задача становится многокритериальной и имеет большую размерность. В математическом аспекте рассматриваемый объект является слабоструктурированным (нечетко определяемая структура) и слабоформализуемым (невозможно построить строгую математическую модель, описывающую основные свойства объекта). Современной теорией принятия решений [30] предлагаются подходы к структуризации и моделированию объектов рассматриваемого класса с помощью выполнения процедур целевого и структурно-функционального анализа. Определяющей особенностью КД как объекта исследований является также наличие как количественных (измеряемых в абсолютных единицах), так и качественных (имеющих вербальное описание) характеристик; в последнем случае это обуславливает необходимость привлечения экспертов, сбора и обработки субъективной экспертной информации. Осуществляемый экспертами переход от нечетких качественных (вербальных) оценок к количественным (как правило, с применением балльных шкал) позволяет использовать математический аппарат и обеспечивает логико-количественную основу решения задачи оценивания и выбора альтернатив.

Принципиально важным этапом процесса оценивания является введение весовых коэффициентов, определяющих относительную важность различных критериев. Эта процедура может быть прерогативой лица, принимающего решение, с учетом его понимания уровня приоритетности того или иного направления КД.

Следовательно, схема процедуры оценивания представляется следующим образом:

- анализ проблемной ситуации, построение системы целей;
- формулирование или генерация альтернатив;
- определение критериев выбора предпочтительной альтернативы и соответствующей системы показателей;
- построение структурной модели проблемы оценивания альтернатив;
- определение относительной значимости критериев (их весовых коэффициентов);
- разработка расчетной схемы определения интегральных оценок эффективности альтернатив по комплексу критериев;
- аналитическое сравнение альтернатив и выбор наилучшего решения.

Задача принятия решения по оценке альтернативных проектов имеет следующую постановку: необходимо сформулировать цели, выбрать соответствующую систему критериев $\{K\}$, провести оценку каждой альтернативы из множества $\{A\}$ по каждому критерию и найти наилучшую альтернативу A^* , руководствуясь сформулированным решающим правилом U , определяющим порядок агрегации (свертки) оценок по отдельным критериям.

7.6. Критериальная база оценивания космической деятельности

В рамках сформулированного подхода предлагаются две группы критериев и показателей, которые следует положить в основу процесса оценивания.

Первая группа критериев (табл. 7.2) используется для анализа объектов, по которым можно сформировать целостную картину количественных и качественных показателей, позволяющих оценить социально-экономическую эффективность. Таковыми могут быть законченная программа, либо программа (проект, сценарий), для которой оценивается прогнозная эффективность.

Таблица 7.2. Система критериев оценивания эффективности космических программ

Общегосударственный приоритет	Критерии и показатели	Вид оценки, единица измерения
<i>1. Экономические критерии</i>		
1.1. Повышение инновационного потенциала экономики/внедрение инноваций в отрасли экономики	Внедрение инновационных технологий: <ul style="list-style-type: none"> • количество разработанных инновационных технологий; • прогнозируемый эффект внедрения в космическую отрасль; • прогнозируемый эффект внедрения в другие отрасли экономики; • экономия затрат за счет использования космических технологий при принятии управленческих решений 	Количество технологий грн грн грн
1.2. Завоевание рынков космических услуг / экспортный потенциал, формирование новых внутренних рынков (коммерциализация)	Создание новых рынков, видов продукции: <ul style="list-style-type: none"> • прогнозируемый объем экспортной продукции (услуг) отрасли; • прогнозируемый объем реализации продукции (услуг) на новых внутренних рынках 	грн грн
1.3. Повышение экономических показателей предприятий и космической отрасли в целом	Экономия средств за счет участия в международных проектах. Экономические показатели предприятий: <ul style="list-style-type: none"> • уровень объемов производства, реализации новой продукции; • чистый дисконтированный доход; • уровень рентабельности; • индекс прибыльности; • уровень фондоотдачи; • другие 	грн грн грн % % %
<i>2. Научно-технические критерии</i>		
2.1. Повышение уровня научных знаний в конкретных областях	<ul style="list-style-type: none"> • Значимость и новизна результатов; • выдвижение прорывных идей и решений; • стимулирование новых междисциплинарных направлений 	Экспертная
2.2. Повышение общего научно-технического и технологического уровня отраслей экономики, сфер управления, обороны и безопасности, образования, природопользования	<ul style="list-style-type: none"> • Разработка научных основ прорывных технологий (возможность получения наукоемкой инновационной продукции); • уровень наукоемкости разработанных технологий и видов продукции за счет внедрения результатов космических проектов; • уровень внедрения научно-методических разработок с использованием космической информации и технологий в: <ul style="list-style-type: none"> — образовательный процесс; — повышение квалификации специалистов; — опытно-конструкторские и технологические разработки отраслей 	Экспертная

7.6. Критериальная база оценивания космической деятельности

Продолжение таблицы 7.2.

Общегосударственный приоритет	Критерии и показатели	Вид оценки, единица измерения
2.3. Повышение уровня научно-технических услуг	<ul style="list-style-type: none"> ● Уровень использования новых знаний, технологий и информации в: <ul style="list-style-type: none"> — предоставлении услуг (навигация, позиционирование, наблюдение Земли, телекоммуникации); — в системах стандартизации, метрологии, контроля качества; — информационных системах; — научно-техническом консультировании («космические составляющие» в технологической и нормативной документации соответствующих сервисов) 	Экспертная
<i>3. Критерии сферы обороны и безопасности</i>		
3.1. Содействие укреплению оборонного потенциала	<ul style="list-style-type: none"> ● Новейшие образцы ракетной техники оборонного назначения; ● новейшие технологии двойного назначения; ● обеспечение информацией о состоянии и характеристиках военных формирований, военных и стратегических объектов в стране и других государствах и т. д. 	Экспертная
3.2. Повышение уровня безопасности жизнедеятельности	<ul style="list-style-type: none"> ● Снижение рисков продовольственной, энергетической, информационной опасности, природных бедствий и техногенных катастроф; ● улучшение управления кризисными операциями; ● снижение затрат на меры по предотвращению опасных ситуаций; ● количество внедренных новых аттестованных методик, сервисов 	Экспертная грн Количество методик, сервисов
<i>4. Критерии устойчивого развития</i>		
4.1. Повышение качества экологического мониторинга (загрязнение окружающей среды, городские агломерации, биоразнообразие и т. д.). 4.2. Новые возможности контроля ресурсов и рационального природопользования. 4.3. Повышение качества прогнозирования погоды	<ul style="list-style-type: none"> ● Снижение рисков, связанных с экологическими проблемами; ● повышение надежности оценок и прогнозов за счет использования спутниковых данных; ● усовершенствование процесса принятия решений за счет использования космической информации; ● количество внедренных новых аттестованных методик, сервисов 	Экспертная Количество методик, сервисов

Окончание таблицы 7.2.

Общегосударственный приоритет	Критерии и показатели	Вид оценки, единица измерения
<i>5. Критерии социальной сферы</i>		
5.1. Уровень жизни граждан	<ul style="list-style-type: none"> • Создание новых рабочих мест; • количество и уровень услуг, улучшающих качество жизни, обеспеченность современными цифровыми услугами связи, вещания, передачи данных, навигации; • повышение квалификации; • улучшение условий труда; • повышение уровня образования, повышение осведомленности граждан о преимуществах применения сервисов с космической информацией, участие в их использовании 	Количество рабочих мест Количество услуг Экспертная
5.2. Воздействие на молодое поколение	<ul style="list-style-type: none"> • Вовлеченность учащейся молодежи в образовательные и исследовательские программы; • популяризация новых мировоззренческих знаний и уникальных результатов космической деятельности; • количество и уровень новых образовательных и учебных программ 	Экспертная Количество программ Экспертная
<i>6. Критерии сферы внешней политики</i>		
6.1. Уровень международного сотрудничества. 6.2. Престиж и политическая значимость государства, региональное лидерство	<ul style="list-style-type: none"> • Количество международных договоров и соглашений в области космической деятельности; • количество международных проектов, в которых принимает участие Украина; • научная и технологическая значимость проектов 	Количество договоров, соглашений, проектов Экспертная

На основе анализа концептуальных и стратегических документов, в которых отражена или подразумевается роль космической деятельности в Украине, сформулирован перечень критериев, имеющий иерархическую структуру, (см. главу 6) [31].

Верхний уровень оценивания выражает вклад космической программы в достижение общегосударственных приоритетных задач. Этот вклад оценивается по системе наиболее общих критериев: экономического развития, научно-технической и социальной сфер, устойчивого развития, обороны, безопасности, внешнеполитических задач. Эти общие критерии характеризуются совокупностью показателей, характеризующих конкретный вклад космической деятельности. Для каждого показателя вырабатывается

соответствующая шкала оценивания, которая основывается на количественных или качественных величинах.

Приведенные показатели, по мнению автора, отражают сущность ожидаемых эффектов в каждой сфере деятельности. Так, экономический эффект включает не только повышение дохода предприятий от продажи космической продукции и услуг, но и доходы от внедрения инноваций (непрямой эффект), а также возможный эффект от формирования новых рынков, включая зарубежные. Последний фактор отражает один из важных приоритетов украинской ракетно-космической отрасли. Рассматриваемые показатели имеют различные метрики: экономические предполагается рассчитывать в денежных единицах; ряд показателей выражают количественно (когда это возможно), качественные показатели служат основанием для экспертных оценок.

Вторая группа критериев. Учитывая длительность подготовки, реализации и внедрения космических проектов и программ, важными представляются оценка промежуточных результатов работ, а также принятие решений о целесообразности их продолжения или корректировки. Кроме того, составные части выполняемых работ (результаты исследований, научно-технические решения, макеты, информационные технологии) могут иметь самостоятельное значение и оцениваться на текущем этапе. Существуют специфические проекты, социально-экономический эффект от реализации которых ожидается в далеком будущем или весьма опосредованным образом. Примерами могут быть создание лунной базы, подготовка пилотируемых полетов и т. д., т. е. случаи, когда ЛПР принимается решение обеспечить приоритет в определенном секторе космонавтики. Другими видами работ являются инфраструктурные проекты (строительство пусковых площадок, универсальных испытательных стендов, полигонов и т. д.), реализация которых направлена на наращивание потенциала космической отрасли. Для таких типов проектов оценка эффективности проводится на основе мониторинга текущих показателей их выполнения (объем выполненных работ, уровень качества, сроки). В зарубежной литературе применяется термин «эффективность работы с агентством», который отражает степень выполнения задачи, поставленной правительством перед космическим агентством. В подобных случаях для анализа результативности работ предлагается использовать группу критериев, представленных в табл. 7.3.

Таблица 7.3. Система критериев оценивания текущих космических проектов

№ п/п	Критерии
<i>Экономические критерии</i>	
1	Уровень фактического финансирования проекта (определяется соотношением планового и фактического финансирования за отчетный период, скорректированного на коэффициент ритмичности поступления (использования) средств)
2	Объем выполненных работ в натуральном виде: состав продукции (отношение план/факт для конечного продукта), оценка процента выполнения объема работ для переходящего этапа
3	Уровень качества (соответствие требованиям ТЗ)
4	Прогнозная оценка удорожания конечной стоимости работ относительно запланированного (объема выпуска дополнительной продукции, не предусмотренной ТЗ)
5	Прогнозная оценка сдвига сроков окончания работ по проекту
<i>Научно-технические критерии</i>	
6	Фактический научно-технический уровень конечной продукции по отношению к заявленному в процессе подготовки предложения
7	Степень актуальности задач, решенных в ходе выполнения проекта, по отношению к заявленному
8	Степень инновационности проекта в целом и разработок, выполненных в ходе реализации проекта
<i>Критерии гуманитарной сферы</i>	
9	Степень воздействия результатов проекта на популяризацию космонавтики, привлечение молодежи в сферу космической деятельности
10	Использование результатов проекта в учебных программах, тренингах, в разработке новых методик обучения
11	Уровень международных контактов в ходе выполнения проекта, популяризации достижений Украины на международных форумах, конференциях, симпозиумах

Оценивание космических проектов (программ, сценариев) по приведенным в табл. 7.2 или 7.3 критериям предполагает получение и сравнение интегральных (по комплексу критериев) оценок альтернатив. Вообще говоря, имеют смысл и абсолютные величины показателей по отдельным критериям (в первую очередь экономическим), однако корректное решение задачи выбора наилучшей альтернативы требует их сопоставления по всей совокупности критериев.

Многокритериальное сравнение и выбор эффективных альтернатив являются центральной задачей теории принятия решений, в рамках которой наработаны различные подходы. На основании предыдущих исследований был сделан вывод о наибольшей релевантности метода анализа иерархий (МАИ) и предложен собст-

венный вариант применения модификации этого метода к оценке космических проектов и программ [10, 11, 31].

Согласно МАИ начальным этапом является построение иерархической структурной модели задачи оценивания. В нашем случае основу такой модели составляют сформулированные выше цели (верхний уровень иерархии) и система критериев (табл. 7.2 или 7.3), которые, в зависимости от специфики предметной области, могут занимать один или несколько иерархических уровней. На самом нижнем уровне иерархии находятся оцениваемые альтернативы. В общем наиболее простом случае структурная модель задачи оценивания может быть проиллюстрирована схемой трехуровневой иерархии, приведенной на рис. 7.2.

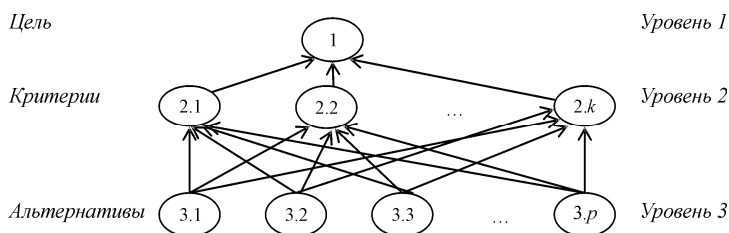


Рис. 7.2. Схема структурирования задачи оценивания альтернатив (k — число критериев, p — число альтернатив)

По этой схеме рассчитываются веса объектов всех иерархических уровней. Определение весов позволяет линейно упорядочить (ранжировать) объекты каждого уровня и количественно оценить их сравнительную ценность. Это дает возможность предметно интерпретировать сравнительную важность каждого объекта иерархии, например, для уровня 2 (рис. 7.2) определить критерий, который дает наибольший вклад в достижение цели, наименьший вклад и т. д.

На нижнем уровне иерархии проводится попарное сравнение оцениваемых проектов по каждому из критериев и простым формулам рассчитываются веса альтернатив по каждому критерию.

Заключительный этап процедуры оценивания — расчет обобщенных оценок эффективности проектов по формуле линейной свертки:

$$Y_s = \sum_{q=1}^k \omega_q y_{sq} .$$

Здесь Y_s — оценка s -го проекта, $s = 1, \dots, p$; ω_q — вес q -го критерия по отношению к цели, $q = 1, \dots, k$; y_{sq} — важность s -й

альтернативы по q -му критерию. В качестве наиболее эффективной выбирается альтернатива с индексом s , имеющая максимальное значение интегральной оценки $Y_s = \max$.

Приведенная схема оценивания не единственно возможная и отражает предпочтение автора. Очевидно, общепринятой оптимальной схемы не существует, поскольку при многокритериальном оценивании роль интуиции или предпочтений эксперта может быть решающей. В то же время необходимы общий подход экспертов к рассматриваемой проблеме, одна система критериев и весовых множителей. При этом плодотворным следует считать и осознание действенности принципа Парето (80/20), согласно которому небольшая доля причин, вкладываемых средств или прилагаемых усилий отвечает за большую долю результатов. Принципиально важным является и согласование взглядов относительно желаемой будущей модели КД. Тогда обсуждения и оценки будут касаться путей достижения и способов оптимизации плановых заданий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

*Долго ли ждать перемен к лучшему?
— Если ждать, то долго!*

Из разговора ученика с Мастером

Космическая деятельность рассматривается в этой книге с точки зрения решения разнообразных, в том числе земных, проблем: от мировоззренческих до сельскохозяйственных. То есть мы задаемся вопросом «зачем?» (Why Space?), полагая, что ответы на вопросы «как?» и «что?» в последующем должны естественным образом учесть мотивацию деятельности в целом.

Поиск ответа на поставленный вопрос состоит из двух относительно самостоятельных сюжетов. Первый — касается современной космической сферы, ее влияния на современную науку, экономику, обеспечение безопасности и научно-техническое развитие. Второй сюжет представляет собой введение в разработку космической стратегии, точнее оснований, на которых этот процесс должен строиться. Очевидно, что оба сюжета совместно служат осмыслению основ стратегического управления космической деятельностью. Результатом осмысления должна стать адекватная оценка изменяющихся внешних факторов, состояния космического сектора и меры стратегического управления.

Такая логика очевидна, поскольку современные космические (как и многие земные) стратегии большинства стран строятся на основании именно такого подхода. Различие состоит только в масштабе деятельности, приоритетах и технологическом воплощении, а методические проблемы, которые активно обсуждаются, состоят в конкретизации мер стратегического управления (речь идет, например, о методах оценки эффективности, путей повышения отдачи инноваций, институциональной структуре управления). Для Украины ситуация существенно иная. Унаследованные возможности и статус космической державы предопределил неявно выраженную, но последова-

тельно воплощаемую стратегию «сохранения потенциала» и «выхода на международные рынки». Она не требует построения моделей будущей деятельности, сценарного анализа или стратегического целеполагания. При этом собственные общегосударственные интересы, потребности потенциальных потребителей и инновационная направленность остаются преимущественно декларациями.

По этой причине постановка проблемы, способ и контекст рассмотрения, основанные на известной системной методологии, представляются актуальными для украинских реалий. Это дает право предлагать изложенный подход (и перечень поставленных вопросов) как вариант исходных положений для космической стратегии.

В то же время целесообразно кратко обозначить некоторые ограничения и проблемы, возникшие при попытке обозрения КД в целом. Анализируя возрастающую роль современной КД, автор невольно поддается соблазну рассматривать ее как императив современного развития, исключительно позитивно влияющий на разрешение глобальных и государственных проблем. Между тем, как и прежние волны технологических инноваций, КД несет с собой специфические риски и не до конца осознанные проблемы. Трудности с формулировкой этих проблем очевидным образом связаны с ограниченным горизонтом предсказания технологических последствий КД. Назовем некоторые из проблем КД, которые активно обсуждаются и не затронуты в тексте соответствующих глав.

При прогнозировании ближайших перспектив КД многие аналитики (особенно в блогосфере) обсуждают перспективы быстрого прорыва в космических технологиях и развития индустриализации космоса. Правительства призывают резко нарастить расходы, привлечь частный капитал и спровоцировать быстрое наращивание отдачи от использования ресурсов космоса. В связи с этим обратим внимание на один из выводов приведенного в главах 2, 3 анализа: индустриализации космоса препятствует не только недостаток вложений; орбитальные эксперименты показали, что деятельность в космосе пока не вышла из рамок экспериментальной стадии. Мы еще не овладели основами технологий, столкнулись с трудностями фундаментального порядка, а практическая деятельность на орбите сводится в значительной степени к обеспечению условий пребывания космонавтов.

С этим выводом имеет смысл сопоставить один из трендов современного освоения космоса: построение лунной базы и пилотируемая миссия на Марс. По мнению многих специалистов космической отрасли (преимущественно в Европе и Японии), отказ в ближайшие годы от «рутинной» отработки космических технологии на околоземной орбите не ускорит практическое ос-

воение космоса. Этот важный вопрос требует обсуждения при выработке национальной стратегии.

Еще одна проблема глобального взгляда на развитие КД связана с растущей неравномерностью разработки и применения прорывных технологий в разных странах, признаками новой гонки в космосе. Еще недавно мировое сообщество с удовлетворением признавало беспрецедентный уровень международного сотрудничества в космосе (Союз-Аполлон, МКС, многие научные проекты) как образец для организации совместной работы в других сферах. В последние годы отчетливо проявляются тенденции к доминированию в космических делах, которые нетрудно обнаружить в официальных стратегических документах. В связи с этим реальным видится обострение глобального неравенства, последствия которого могут быть сравнимы с разделением на бедные и богатые страны, возникшим как результат промышленной революции. Поэтому выбор собственной технологической ниши и партнеров по кооперации имеет важные следствия не только для развития космической отрасли.

Обратим внимание на одно из проблемных следствий бурного развития космических информационных и коммуникационных технологий. В ближайшее время продолжится быстрый рост объемов передаваемой информации, возникновение новых сервисов на основе средств спутниковых систем наблюдения, позиционирования и передачи информации. Уже сегодня эта сфера революционизировала глобальный бизнес, банковскую сферу, управление военными и спасательными операциями, мониторинг чрезвычайных ситуаций; в мир Big Data вовлекается огромное количество рядовых пользователей. Обратной стороной этой информационной глобализации все чаще становятся вторжение в управление опасными объектами, избирательный процесс и манипулирование личными данными. Некоторые правительства всерьез рассматривают возможность ограничения или контроля за спутниковым интернетом, хотя бесперспективность этой борьбы очевидна. Разработка технических мер противодействия этому вызову, включая наземно-космические средства, особенно актуальна в условиях гибридной агрессии.

Отмеченные проблемы и риски имеют отношение к самой общей постановке вопроса о приоритетах и выборе базовых сценариев. Существует множество неопределенностей и рисков другого уровня (организационные, кадровые, технологические), которые возникают при декомпозиции главной цели и выработке направлений реализации сценариев. Учет возможных неопределенностей и рисков имеет принципиальную важность для инте-

гральной оценки эффективности разрабатываемого сценария и планов его воплощения. Подчеркнем, что анализ эффективности начинается до начала реализации (еще на стадии формулировки целей), процесс выработки стратегии предполагает непрерывный мониторинг, корректировку целей деятельности и путей их достижения. Продуктом этой деятельности должен стать пакет документов, который регламентирует космическую деятельность в целом и служит основой для достижения поставленных целей.

В заключение приведем приблизительный перечень документов, которые соответствуют предлагаемой идеологии разработки стратегии. Первым по значению документом должна быть **Стратегия (Концепция) космической деятельности Украины**, на период 10—15 лет, содержащая оценку состояния КД, основные приоритеты, отвечающие выполнению общегосударственных задач, основные задания и ожидаемые результаты, формулировку составных частей планируемой КД, принципы достижения поставленных целей, прогнозный объем финансирования и дорожную карту достижения целей. Этот документ является основой формирования общегосударственной и других программ в сфере космической деятельности и определяет объем, приоритеты и суть КД Украины.

Подготовка документа базируется на трех согласованных видах работы. Во-первых, готовится аналитический документ **Space Vision**, который содержит аргументацию экспертов относительно перспектив развития возможных приоритетных направлений КД, освещая разные направления по единому плану изложения: достижения, потенциал, международное сотрудничество, эффективность направлений, решение общегосударственных задач. Во-вторых, организуется **анкетирование** широкого круга специалистов космической сферы, которые представляют различные сообщества (научное, инженерное, университетское, бизнесовое). Вопросы анкеты касаются концептуальных вопросов стратегии: приоритетов развития, объема бюджетного финансирования, базовых сценариев развития КД. И **общественные обсуждения** с широким кругом участников, включая непрофессионалов, относительно приоритетов и сценариев космической деятельности.

Этот подход широко используется в разных странах и служит залогом не только эффективного управления, но и уважения к принятым решениям и прозрачности последующего контроля. Управление деятельностью (в отличие от, например, технологического процесса или отраслевой программы) требует разработки методологии этапов с учетом современного опыта стратегического управления. Эта проблематика последующих работ, для которых данная книга может служить вступлением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

К ГЛАВЕ 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 обращения 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.

К ГЛАВЕ 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 обращения 29.10.2018).
4. Ehrenfreund 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 обращения 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 обращения 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 обращения 29.10.2018).
10. URL: https://www.esa.int/Our_Activities/Operations/Space_Situational_Awareness/About_SSA (дата обращения 29.10.2018).
11. URL: http://www.swpc.noaa.gov/NOAA_scales (дата обращения 29.10.2018).
12. URL: <https://www.nasa.gov/feature/nasa> (дата обращения 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. *Геомagnetизм 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. Geophys. 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: ВИНТИ, 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 обращения 29.10.2018).

27. URL: <https://www.nasa.gov/directorates/heo/sslpra/islswg.html> (дата обращения 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 обращения 29.10.2018).
30. URL: <https://www.iss-casis.org/research-on-the-iss/areas-of-research/life-sciences/> (дата обращения 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?objectId=45512> (дата обращения 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 обращения 29.10.2018).

К ГЛАВЕ 3

1. Communication from the Commission to the European parliament, 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 обращения 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 обращения 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 обращения 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 обращения 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 обращения 01.10.2018).
9. CEOS Earth Observation Handbook. 2018. URL: <http://www.eohandbook.com/> (дата обращения 01.10.2018).
10. Дворкин Б.А., Дудкин С.А. Новейшие и перспективные спутники дистанционного зондирования Земли. *Геоматика*. 2016. URL: <http://geomatika.ru/clauses/130/> (дата обращения 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 обращения 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 обращения 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 обращения 01.10.2018).

14. Feuerbacher В., Stoewer Н. 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 обращения 01.10.2018).

17. <http://www.tadviser.ru/index.php>.

18. Eissfeller В., Tiberius С., Pany Т. 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 В., Legat К., and Wieser М. 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 В.В. 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 обращения 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 обращения 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 обращения 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 обращения 12.11.2018).

26. Лузин П. Военный космос: перспективы и вызовы. Новый Оборонный Заказ. Стратегии. 2017, № 4 (46). URL: <https://dfnc.ru/kosmos/> (дата обращения 12.11.2018).

27. Босиков Р. Освоение космоса как инструмент мягкой силы. Наука и техника. 26 апреля 2017. URL: <http://naukatehnika.com/nauka/> (дата обращения 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 обращения 12.11.2018).

29. Taverney Т. Space Force: it's time to act. Spacereview. October 1, 2018. URL: <http://www.thespacereview.com/> (дата обращения 12.11.2018).

30. Lorrey М. The legal mandate for a US Space Force. Spacereview. October 1, 2018. URL: <http://www.thespacereview.com/> (дата обращения 12.11.2018).

К ГЛАВЕ 4

1. Gurtuna O. Fundamentals of Space Business and Economics. Springer-Briefs 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 обращения 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 обращения 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 обращения 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 обращения 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 обращения 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 обращения 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 обращения 16.10.2018).

12. The Case for Space 2015. The impact of space on the UK economy. A study for the Satellite Applications Catapult, innovate 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 обращения 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 обращения 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://brycetechnology.com/downloads/Global_Space_Industry_Dynamics_2017.pdf (дата обращения 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 обращения 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 обращения 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 обращения 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://brycetechnology.com/downloads/Bryce_Start_Up_Space_2017.pdf (дата обращения 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 аспекты. Макаров: КЖТ «София», 2014. 58 с.

К ГЛАВЕ 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 обращения 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 обращения 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 обращения 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 обращения 26.10.2018).

6. Про Національний центр управління та випробувань космічних засобів: Указ Президента України от 12.08.1996 р. № 698/96. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/698/96> (дата обращения 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 обращения 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 обращения 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 обращения 26.10.2018).

11. Ільченко 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.

К ГЛАВЕ 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 обращения 13.10.2018).

6. Довгань Л.Є., Каракай Ю.В., Артеменко Л.П. Стратегічне управління: Навчальний посібник. Київ: 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 обращения 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 обращения 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 обращения 13.10.2018).
10. Communication from the Commission to the European parliament, 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 обращения 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 обращения 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 обращения 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 обращения 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 обращения 13.10.2018).
17. Военная доктрина Украины. Затверджено Указом Президента України від 24.09.2015 р. № 555/2015. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555/2015> (дата обращения 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 обращения 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.

К ГЛАВЕ 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 обращения 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 обращения 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 обращения 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 обращения 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 обращения 25.10.2018).
6. Алпатов А.П., Марченко В.Т., Хорольський П.П., Сазіна Н.П. Методологічні аспекти фінансово-економічного обґрунтування проєктів 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. Космична 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 обращения 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 обращения 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 обращения 25.10.2018).
16. Про внесення змін до Закону України «Про інвестиційну діяльність» щодо державних інвестиційних проєктів 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 обращения 25.10.2018).
17. Рошин А.В., Тихонов И.П., Проничкин С.В. Методический подход 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 обращения 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 обращения 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 обращения 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 обращения 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. SpringerBriefs in Space Development. New York: Springer, 2013. 85 p.
30. Черноуцкий 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.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ЧАСТЬ I.	
О НЕКОТОРЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ СОВРЕМЕННОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	7
1. КОСМОС И НАУЧНАЯ КАРТИНА МИРА.....	9
1.1. Введение.....	9
1.2. Античный Космос как предел обобщений.....	14
1.3. Космос в мире классической механики.....	15
1.4. Парадоксы классического описания физической картины мира.....	18
1.5. Материальный мир (Вселенная) и сознание: поиск общего подхода к пониманию.....	22
2. О КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ.....	27
2.1. Введение.....	27
2.2. Космическая астрономия и астрофизика.....	32
2.3. Околосземный космос, солнечно-земные связи, космическая погода.....	38
2.4. Об исследованиях в условиях микрогравитации: материаловедение, науки о жизни, фундаментальная физика, технологические эксперименты.....	43
2.5. Изучение и освоение космического пространства: автоматические и пилотируемые миссии.....	51
3. О ПРИМЕНЕНИИ КОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ... ..	57
3.1. Введение.....	57
3.2. Спутниковые наблюдения Земли и океанов.....	58
3.3. О спутниковых телекоммуникациях.....	74
3.4. О спутниковой навигации.....	77
3.5. Безопасность и оборона.....	79
4. О КОСМИЧЕСКОЙ ЭКОНОМИКЕ.....	83
4.1. Введение.....	83
4.2. Некоторые экономические характеристики современной космической деятельности.....	87
4.3. «Новый космос» и инновационный потенциал космической деятельности.....	92
4.4. Прямое воздействие не прямых эффектов.....	96
4.5. Космическая экономика и государственная политика: примеры некоторых стран.....	100
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	113

ЧАСТЬ II.

О ПУТЯХ РАЗРАБОТКИ СТРАТЕГИИ КОСМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УКРАИНЫ	117
5. О НЕКОТОРЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ КОСМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УКРАИНЫ	119
5.1. Введение	119
5.2. Об основных результатах космических программ	124
5.2.1. Общегосударственные (национальные) космические программы Украины (ОКПУ)	124
5.2.2. Коммерческие международные космические проекты	133
5.2.3. Программы научных космических исследований НАН Украины	137
5.2.4. Другие программы и проекты.....	139
5.3. Выводы	141
6. О ВЫРАБОТКЕ СТРАТЕГИИ КОСМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ	146
6.1. Предпосылки применения стратегического управления космической деятельностью	146
6.2. Новая парадигма современной космической деятельности и целеполагание в стратегическом управлении космической деятельностью	150
6.3. Стратегическое управление космической деятельностью: основные подходы	156
6.4. Стратегическое управление и сценарный анализ	159
7. ОБ ОЦЕНИВАНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ ПРОГРАММ	164
7.1. Введение	164
7.2. Об оценке эффективности различных типов государственных программ	166
7.3. О вербальном оценивании международных космических программ	169
7.4 Краткий анализ подходов к оцениванию эффективности космических программ	171
7.5. О подходе к процедуре оценивания	175
7.6. Критериальная база оценивания космической деятельности	177
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	185
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	189
К главе 1.....	189
К главе 2.....	189
К главе 3.....	191
К главе 4.....	192
К главе 5.....	194
К главе 6.....	194
К главе 7.....	195

Наукове видання

ФЕДОРОВ Олег Павлович

**ПРО КОСМІЧНУ ДІЯЛЬНІСТЬ:
підходи до розробки стратегії
WHY SPACE FOR UKRAINE?**

(Російською мовою)

Київ, Науково-виробниче підприємство
«Видавництво “Наукова думка” НАН України», 2019

Оформлення, комп’ютерна верстка *С.В. Вероцького*
Оператор *В.Г. Каменькович*

Підп. до друку 08.01.2019. Формат 60×90/16. Папір офс. № 1.
Гарн. Таймс. Ум. друк. арк. 12,50. Обл.-вид. арк. 13,21.
Тираж 100 прим. Зам. № 52—019

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