РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ
2016, том 3, выпуск 4, с. 48–64

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ, ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ И СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕТРИИ

УДК 355/359

Формирование научно-технического задела для разработки перспективных технологий космического приборостроения

А. А. Романов

д. т. н., профессор
АО «Российские космические системы»

e-mail: romanov@spacecorp.ru

Аннотация. В статье представлен анализ основных подходов при создании научно-технического и технологического заделов в организациях космического приборостроения, показано, что на современном этапе в ведущих корпорациях аэрокосмической индустрии исследования и разработки сосредоточены в крупных корпоративных центрах, реализующих принципы системного инжиниринга. Основными документами планирования инноваций являются технологические дорожные карты по критическим направлениям, на основании которых формируются проекты создания перспективных образцов космической техники, включающие основные этапы жизненного цикла изделий.

Рассмотрен процесс обеспечения готовности технологических инноваций в компании AIRBUS DEFENCE AND SPACE. Отмечается, что затраты на исследования и разработку соответствуют приблизительно 5% общего объема финансирования компании.

Предложена концепция корпоративного центра исследований и разработок в области космического приборостроения.

Обсуждены основные технологические тренды создания перспективных служебных и целевых приборов в интегрированной структуре АО «Российские космические системы». Результаты представлены в сводной таблице критических приборных (системных) технологий.

Ключевые слова: научно-технический задел, космическое приборостроение, системный инжиниринг, критические технологии, технологическая дорожная карта

Development of a Science and Technology Basis for Creation of Advanced Space Engineering Technologies

A. A. Romanov

doctor of engineering science, professor
Joint Stock Company “Russian Space Systems”

e-mail: romanov@spacecorp.ru

Abstract. The article offers an analysis of the main approaches to the building of a scientific, technical and technological base in space device engineering organizations. It is noted that presently in the leading corporations of aerospace, the research and development is mainly conducted in the major corporate centers that implement the principles of systems engineering. The main innovation planning documents are the technological roadmaps for critical areas, on the basis of which the advanced space technology development projects, that include the main stages of the product life cycle, are created.

The availability engineering of the technological innovation in the company AIRBUS DEFENCE AND SPACE is considered. It is noted that the costs of research and development correspond to approximately 5% of the company’s total funding.

The concept of the corporate center for research and development in the field of space device engineering is suggested.

The main technological trends in the development of advanced service and target devices in the integrated structure of the Joint Stock Company “Russian Space Systems” are discussed. The results are presented in the summary table of critical device (system) engineering technologies.

Keywords: scientific and technical basis, space device engineering, systems engineering, critical technologies, technology roadmap

Введение

Переход к инновационному пути развития экономики Российской Федерации на основе избранных приоритетов, к которым отнесены «Транспортные и космические системы», утвержден Указом Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 г. № 899 [1]. При этом в число критических технологий вошли «Технологии создания ракетно-космической техники нового поколения». Реализация данного указа обеспечивается, в том числе, решением задач Федеральной космической программы до 2025 г. (ФКП-2025), одной из главных целей которой является создание научно-технического задела для перспективных космических комплексов и систем.

Рядом отраслевых руководящих документов за АО «Российские космические системы» закреплена роль головной научно-исследовательской организации ракетно-космической промышленности по разработке и созданию:

- технологий космического приборостроения;
- бортовых радиотехнических комплексов;
- наземных комплексов управления космическими аппаратами,

а также по применению электрорадиоизделий (электронной компонентной базы), используемых в комплексах и изделиях.

В результате выполнения ФКП-2025 будут развернуты работы по созданию опережающего задела по ключевым образцам бортовой целевой аппаратуры и служебных систем для наиболее перспективных космических аппаратов различного целевого назначения [2].

В работе [3] предложено толкование термина «создание научно-технологического задела», используемое для обозначения результатов всей совокупности научных исследований и технологических разработок, которые необходимо провести к моменту перехода к стадии ОКР по созданию образца космической техники. При этом подразумевается, что основу для проведения прикладных исследований и технологических разработок по созданию материалов, электронной компонентной базы, составных частей, модулей, блоков и других элементов, используемых при проведении ОКР, составляют новые знания о явлениях, эффектах, законах и закономерностях, имеющих прикладное оборонное значение, полученные в ходе проведения фундаментальных, прогнозных и поисковых исследований.

Таким образом, основная идея создания научно-технического задела для разработки сложных технических систем очень проста: гораздо дешевле инвестировать в разработку технологий и исследования, используя методологии анализа миссии или системного проектирования до начала разработки системы, чем потом решать инженерные проблемы, неизбежно возникающие при реализации недостаточно хорошо проработанного проекта. Другими словами, чтобы делать хорошие изделия, сначала нужно понять, что они собой представляют. Заблаговременное и разумное вложение инвестиций в исследование альтернативных вариантов и состояние завершенности конкурирующих технологий улучшает качество управленческих решений при разработке систем, а также точность оценок их стоимости и сроков создания [4].

На разных этапах развития прикладных научных исследований целевая функция создания научно-технического задела формулировалась и реализовывалась неодинаково. Авторы книги [5] выделяют 5 этапов эволюции поколений управления исследованиями и разработками, начиная с 1950-х гг. и заканчивая современным этапом. На самом раннем этапе доминировала линейная модель управления, когда в корпоративных научно-исследовательских лабораториях получали новые знания, которые затем преобразовывались в технологии и новые продукты.

Следующее поколение относится к 1960–1970 гг. Оно характеризуется переходом к удовлетворению требований рынка. При этом возрастающая конкуренция определила главные приоритеты ориентации НИОКР на рынок, что привело к доминированию краткосрочных целей над долгосрочными задачами фундаментальных НИР. Линейная модель управления НИОКР все еще работала, но уже дополнялась элементами маркетинга, особенно на начальной и конечной стадиях работ. Научно-исследовательские лаборатории интегрировались в законченные организационные системы предприятий и становились равноправными структурными подразделениями наравне со всеми другими подраз-

делениями корпораций. Их главной задачей становилось выявление требований заказчика и поиск новых идей, необходимых для их удовлетворения.

Третье поколение управления НИОКР возникло в семидесятые годы прошлого века как ответ на два глобальных нефтяных кризиса, приведших к скачкам инфляции и безработицы. Сложившаяся ситуация подтолкнула к переориентации управления НИОКР, когда компании пересматривали свое стратегическое мышление в направлении более рациональных действий, вследствие чего были вынуждены консолидироваться, трансформируя ценовую политику и минимизируя путь от новых знаний к новым технологиям. Данный этап характеризуется внедрением принципов проектного управления в управление НИОКР.

Четвертое поколение управления НИОКР применялось в восьмидесятые и девяностые годы, когда сильные глобальные корпорации укрепляли свою власть. Экономические показатели постоянно улучшались. Такие промышленные гиганты, как «Тойота», «Сони» и «Хонда», усиливали инвестиции в НИОКР, перенося фокус с собственно проектов на всю бизнес-систему.

Пятое поколение управления НИОКР внедряется на современном этапе развития мировой экономики. При этом наблюдается интересное явление, когда глобализация и ускоренное создание новых технологий привели к тому, что компании, конкурировавшие в прошлом, начали совместно инвестировать в перспективные НИОКР, создавая партнерские кластеры. При подобном подходе исследователи становятся одними из акционеров компаний наравне с производителями, дилерами, пользователями и поставщиками, а выполнение корпоративных НИОКР в таких компаниях, как «Майкрософт», «Нетскейп» и «Делл», определяет будущий рынок НИОКР [6, 7].

Следует отметить, что в большинстве случаев управление НИОКР в Российской Федерации все еще находится на уровне перехода от третьего к четвертому поколению, поэтому проблема реформирования этого процесса весьма актуальна и требует тщательной разработки.

В работе [8] показано, что современное мировое состояние разработки технологий характеризуется переходом от пятого в шестому технологическому укладу, начало которого относят к 2020 г. Основными направлениями разработок шестого технологического уклада станут:

- биотехнологии, основанные на достижениях молекулярной биологии и генной инженерии;
- нанотехнологии;
- системы искусственного интеллекта;
- глобальные информационные сети и интегрированные высокоскоростные транспортные системы.

Дальнейшее развитие получат гибкая автоматизация производства, космические технологии, производство конструкционных материалов с заранее заданными свойствами, атомная промышленность и авиаперевозки.

Очевидно, что поставщиками технологий для мировой экономики станут только те страны, которые уже сегодня начали переход к новому технологическому укладу. Всем остальным уготована участь потребителей разработок лидеров. Соответственно для отечественной наукоемкой индустрии данная проблема становится жизненно важной, поскольку ведущие в технологическом отношении страны будут продолжать политику доминирования и вряд ли пойдут на активное сотрудничество и совместную разработку инноваций с Россией.

Целью настоящей статьи является проведение сравнительного анализа существующих подходов к организации корпоративного управления научно-технической деятельностью, а также технологических дорожных карт в области мирового космического приборостроения и предложение путей организации подобных работ в АО «Российские космические системы».

Метод технологического дорожного картирования

Методология дорожного картирования в настоящее время широко используется различными организациями и предприятиями, разрабатывающими наукоемкую инновационную продукцию [9] для координации и управления исследованиями и разработками, а также обеспечения соответствия вложенных инвестиций целям и стратегии развития компаний.

Технологическое картирование первоначально было предложено компанией «Моторола» в 1970-е гг. для улучшения координации разработки технологий и инновационной продукции за счет обеспечения структурированного визуального представления стратегии компании. Руководитель компании «Моторола» в то время Боб Гэлвин предложил следующее определение: «Дорожная карта представляет собой развернутое отображение взгляда в будущее выбранного направления инноваций, выражающее обобщенные знания и представления о драйверах, наиболее влияющих на стратегическое развитие компании».

В Российской Федерации используются следующие определения дорожного картирования [10].

Дорожное картирование — систематический подход, позволяющий выявить критические потребности в технологиях для того, чтобы удовлетворить спрос на них. Картирование включает, как правило, анализ рыночных или отраслевых тенденций, текущих и будущих технологических возможностей и выявление взаимосвязей между тенденциями, необходимыми продуктами, технологиями и текущими возможностями.

Дорожная карта — это стратегический план, описывающий действия, которые должна выполнить организация, чтобы достичь указанных результатов и целей. Карта четко очерчивает связи между задачами и приоритетами для действий в ближайшей, среднесрочной и долгосрочной перспективах. Эффективная дорожная карта также включает систему показателей и контрольные точки, позволяющие регулярно отслеживать продвижение к достижению конечных целей.

Технология — совокупность научно-технических знаний, процессов, материалов и оборудования, которые могут быть использованы при разработке, производстве или эксплуатации образцов РКТ.

Отметим, что в целом понимание технологий в нормативных документах различных космических ведомств мира очень похоже. Документ NASA OMB No.A-11 «Выполнение исследований и разработки» дает следующее определение термина «технология»: решение, возникающее за счет применения инженерных знаний при создании прибора, процесса или подсистемы и обеспечивающее получение заданных характеристик [11]. При этом подразумевается, что понятие технология включает в себя прикладные исследования: систематизированное изучение, улучшающее знания или понимание, необходимые для определения средств, используемых для удовлетворения заданных потребностей. Также в данное понятие входит и разработка, которая направлена на производство материалов, приборов, а также систем или методов, включая проектирование, совершенствование и улучшение прототипов, а также новых процессов, удовлетворяющих заданным требованиям.

В настоящее время используются разнообразные формы дорожных карт, хотя все они обычно фокусируются на многоуровневых схемах, привязанных к единой временной шкале, связывающей разработку необходимых технологий с рыночными тенденциями и драйверами.

Наиболее полное представление о шаблоне технологической дорожной карты можно получить на примере рис. 1. Подобный тип дорожной карты выражает видение как со стороны «требования», так и со стороны «поставлено», балансируя между рыночными побудительными мотивами и технологическими «прорывами».

Ключевые вопросы, на которые отвечает такая дорожная карта:

1. Куда мы идем?
2. Где мы сейчас?
3. Как мы сможем достичь поставленных целей?

Верхняя часть дорожной карты (голубой цвет) отражает рыночные тренды и запросы бизнеса, отвечая на вопрос: зачем все это нужно? Средняя часть (желтый цвет) отражает виды производимой продукции, услуги или разрабатываемые системы, поясняя, что мы создаем. И, наконец, нижняя часть (зеленый цвет) представляет разрабатываемые технологии, выполняемые исследования и потребные для этого ресурсы, объясняя, каким образом мы достигаем поставленных целей. Таким образом, можно сказать, что верхняя часть «подтягивает» среднюю, в то время как нижняя часть ее «подталкивает».

Другими словами, верхняя часть дорожной карты отражает коммерческие и стратегические перспективы компании, средняя часть — состояние и перспективы проектирования, разработки и производства, а нижняя — необходимые перспективные исследования и требуемые технологии.

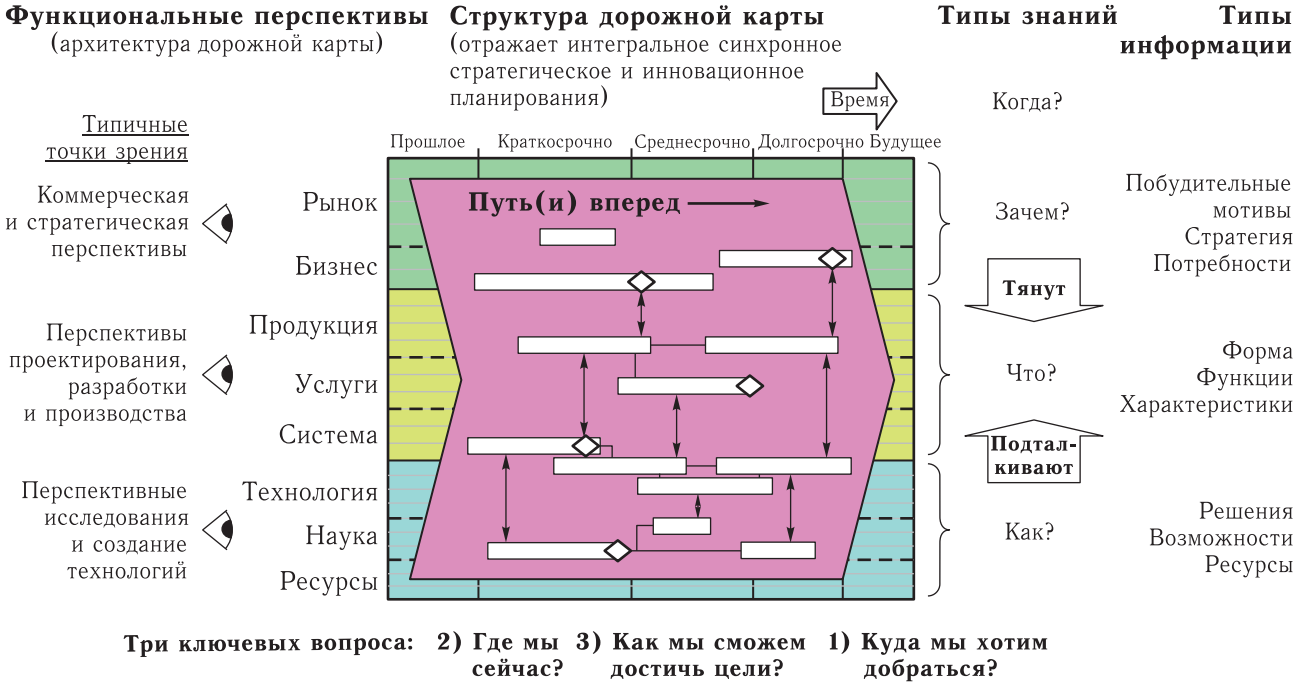

Рис. 1. Многоуровневая дорожная карта

Следовательно, «дорожная карта» — это не только сетевой график реализации проекта создания инновационной продукции.

Почему данный подход оказался таким востребованным? Ответ на данный вопрос достаточно прост. Никого не интересуют результаты НИР сами по себе. Еще хуже, когда разработка конструкторской документации в ходе выполнения ОКР осуществляется без выполнения предварительной прикладной НИР. Зато всех интересует конечный продукт заданного качества, оптимальный по цене и доступный в разумные сроки.

Именно поэтому на первый план и выходит создание новых технологий разработки и производства инновационной продукции, обладая которой производитель может обеспечить конкурентноспособность и технологическую независимость выпускаемых изделий. Реализация указанной цели достигается применением стандарта «Уровни технологической готовности» (TRL), приводящим в соответствие стадии жизненного цикла изделий и технологическую зрелость разработки [12]. Традиционно уровни TRL1–TRL3 соответствуют инновациям ранней стадии и достигаются в результате проведения научно-исследовательских работ в вузах и институтах академий наук, TRL4–TRL5 обеспечиваются разработками критических технологий в технологических компаниях, и после демонстрации комплексных возможностей на этапе квалификации системы TRL6 начинается коммерциализация инноваций, соответствующих TRL7–TRL9, которая проводится заинтересованными бизнес-структурами.

Сравнительный анализ технологических дорожных карт мировой аэрокосмической индустрии

В табл. 1 приведены типовые варианты программ развития технологий NASA, поддержанных в рамках финансирования различными фондами, где иллюстрируются основные характеристики этих программ по длительности, стоимости и достигаемым уровням технологической готовности.

Видно, что по мере повышения достигаемого уровня TRL количество проектов уменьшается, общий срок реализации инноваций от момента валидации концепции до квалификации системы

Таблица 1. Типовые варианты программ разработки технологий NASA

Элемент программы технологии	Инновация ранней стадии	Революционная технология	Демонстрации комплексных возможностей
Стадия разработки	Валидация концепции (TLR 1–2)	Техническая демострация (TLR 3–4/5)	Квалификация системы (TLR 6)
Количество проектов	100+	10–20	3–8
Типовая стоимость проекта	$50 000–$800 000	$45 000 000 (2 г.) $75 000 000 (3 г.)	$150 000 000 из STR
Длительность проекта	6 мес–2 г.	2 г. с продлением на 1 г.	< 3 лет
Программы	Гранты на исследование космических технологий	Разработка революционной технологии малого спутника	Демонстрации технологий Миссии малых спутников Эдисона Полетные возможности
	NIAC 2		
	Фонд центра инноваций		
	SBIR/STTR		
	Вызовы столетия		
Отбор исполнителей	Завершен	> 70 % завершен	> 70 % завершен
Типовые исполнители	Академия, NASA промышленность	NASA, академия национальные лаборатории, промышленность	Промышленность, NASA
Финансирование/ партнерские механизмы	Гранты, контракты, кооперативные соглашения, конкурентные конкурсы	Гранты, контракты, кооперативные соглашения, соглашения о космической деятельности	Контракты, соглашения о космической деятельности
Софинансирование	Желательно	Предпочтительно	Требуется минимум 25 %
Партнеры	Академия Федеральные: NASA, DARPA, Минобороны, Минэнерго, NOAA, NSF, и другие Промышленность: авиакосмическая, неавиакосмическая Международные партнеры		

не превышает 5 лет. При этом схема финансирования проектов предусматривает наличие софинансирования разработки начиная с самых ранних стадий.

Летом 2015 г. NASA выпустило 15 технологических дорожных карт, рассматривающих широкий набор необходимых технологий, предложенных к разработке в ближайшие 20 лет (2015–2035) [13]. Дорожные карты прежде всего сфокусированы на проведении прикладных научных исследований и разработок. Конечный документ включает полный набор дорожных карт (рис. 2) и содержит вводную часть, описывающую ключевые взаимопроникающие технологии, а также 15 технологических областей космической деятельности, для каждой из которых разработана своя дорожная карта. Во введении выделены несколько технологий, включенных более чем в одну технологическую область. Ожидается, что разработка представленных технологий обеспечит прорыв в обеспечении разнообразных космических миссий NASA. В дополнение разработка в NASA всех этих технологий приведет к многочисленным приложениям для населения, улучшающим состояние здравоохранения, перевозки, безопасность жизнедеятельности и производство товаров народного потребления.

Наиболее близкой к технологиям космического приборостроения является дорожная карта TA8 «Научное оборудование, обсерватории и датчиковые системы», содержащая ключевые компоненты

Рис. 2. Технологические дорожные карты NASA

космических приборов целевого наблюдения, включая оптические элементы, зеркала, фокальную плоскость с детекторами и электроникой обработки, криогенные охлаждающие элементы и др. Полная дорожная карта до 2030 г. по направлению TA8 приведена на рис. 3. На временной оси отложены все точки принятия важных решений и ключевые события: проведение независимых экспертиз, одобрение выбранных решений, завершение этапов разработки технологий, моменты достижения уровня TRL6, а также ожидаемые технологические прорывы.

Аналогично дорожным картам NASA разработаны дорожные карты ESA, JAXA и Китая [14–16]. Следует отметить, что финансирование технологических разработок в ESA осуществляется как в рамках обязательных программ, включающих научную программу создания основных технологий (**CTP**) и программу фундаментальных технологических исследований (**TRP**), так и с использованием дополнительных программ, куда входят:

1. Основная программа поддержки технологий (**GSTP**).

2. Рамочная программа ДЗЗ (**EOEP**).

3. Прикладные телекоммуникационные исследования (**ARTES 3–5**).

4. Европейская программа развития ГНСС (**EGEP**).

5. Программа создания перспективных средств выведения (**FLPP**).

6. Пилотируемая программа (**THEP**).

7. Программа автоматических спутников (**ETP**).

Полностью механизм финансирования технологических разработок в ESA с привязкой к уровням технологической готовности представлен на рис. 4.

Отличительная особенность технологических дорожных карт Японии состоит в том, что в них реализуются сразу несколько различных стратегий.

СТРАТЕГИЯ 1. Продвижение применения малых спутников в качестве подкрепляющей меры увеличения частоты наблюдений

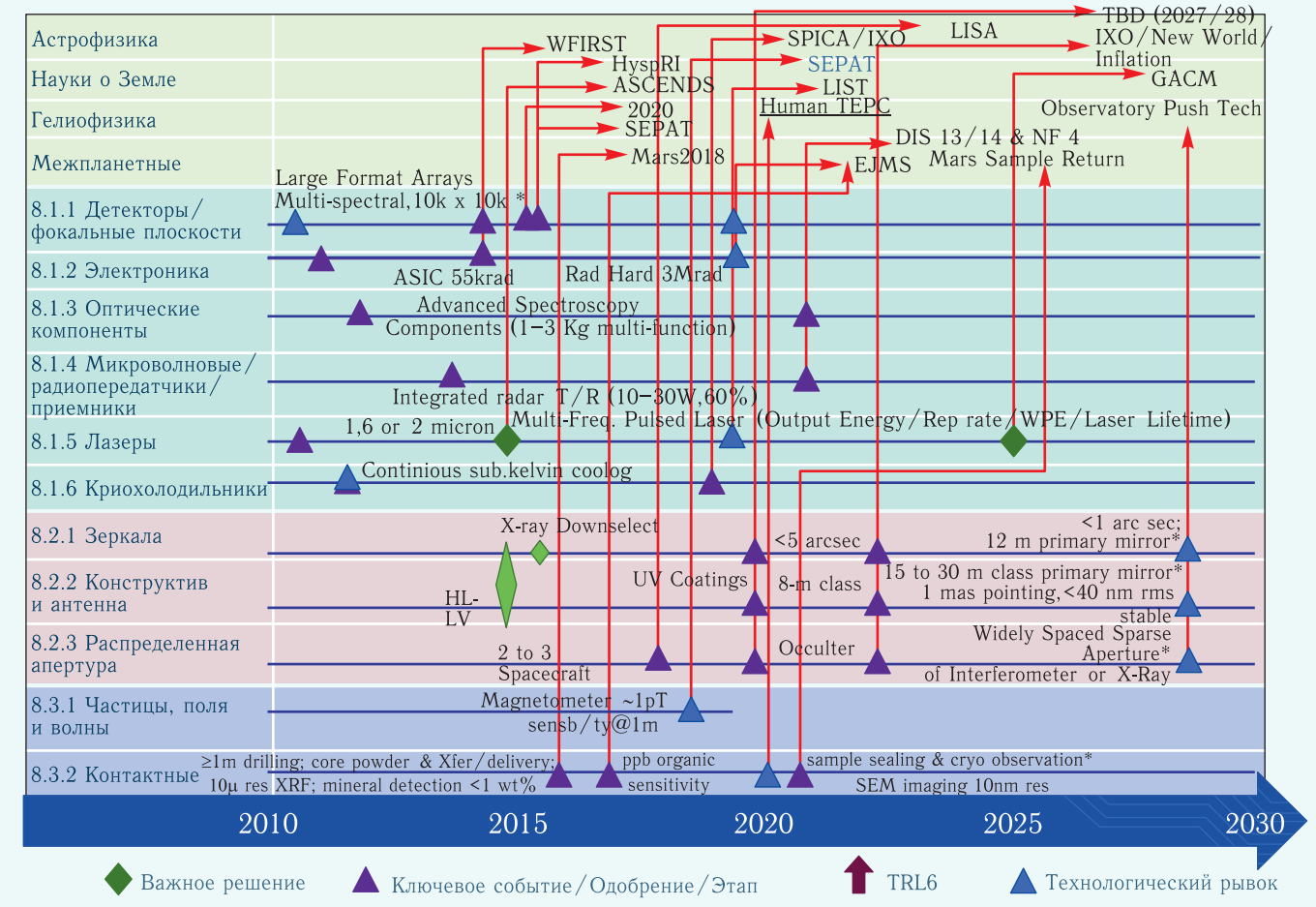

Рис. 3. Технологическая дорожная карта NASA TA8

и дополнения функций к общей космической системе Японии, главная часть которой создана на КА средних размеров.

Реализация заданной стратегии достигается применением базовой составляющей орбитальной группировки на основе среднеразмерных спутников, включающей спутники массой около 2 т, применяемые для наблюдений суши/океана в глобальном и региональном (Азия) масштабе с установкой высокопроизводительных сенсоров, имеющих широкую полосу захвата и высокое пространственное разрешение.

Малые спутники рассматриваются как дополнение и могут применяться в миссиях, требования которых будут удовлетворены простой малогабаритной аппаратурой.

В настоящее время изучаются следующие применения:

1. Космическая АИС (автоматическая идентификационная система) для наблюдения судов в океане.

2. Миссия РСА (радиолокатор с синтезированной апертурой) с небольшой антенной, работающей только на прием.

3. Миссия для изучения газового состава атмосферного воздуха.

В перспективных приложениях рассматриваются следующие варианты платформ малых космических аппаратов:

– серии малых КА JAXA, например малый демонстрационный спутник и малый научный спутник;

– малые спутники, производимые национальными университетами и компаниями, а также

– японский модуль на МКС.

СТРАТЕГИЯ 2. Сделать малые КА первопроходцами на пути уменьшения размеров

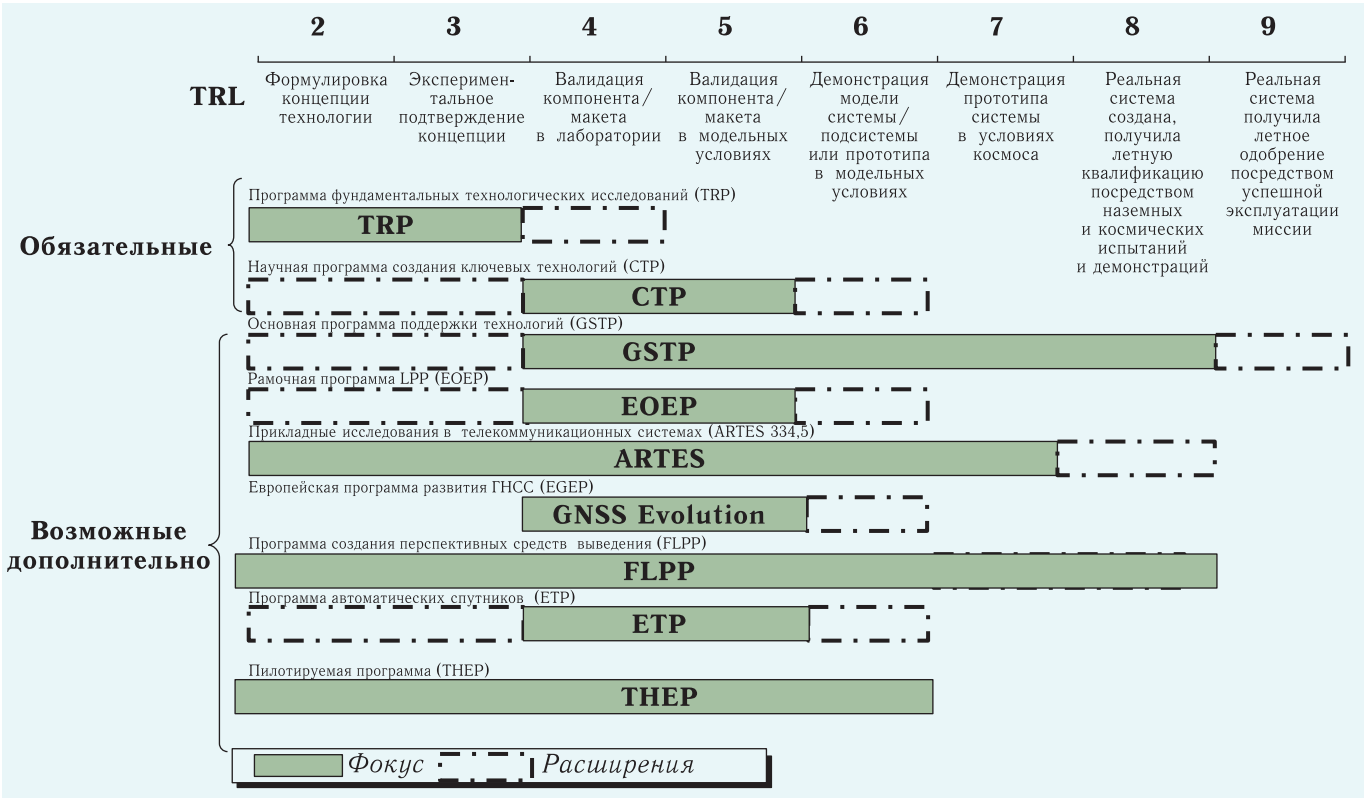

Рис. 4. Механизм финансирования разработки технологий в ЕКА

и веса спутниковых компонентов, применимых на больших КА, что приведет к повышению технологической конкурентности Японии.

Достижение целей данной стратегии обеспечивается путем выполнения НИОКР по уменьшению размеров и веса спутниковых компонентов. Это дает:

1. Повышение существующего отношения массы полезной нагрузки к общей массе спутниковой системы:

– на 10 % для 5 кг ПН @ 50 кг общей массы КА,

– на 20 % для 100 кг ПН @ 500 кг общей массы КА.

2. Значительное улучшение весового коэффициента будет достигнуто за счет уменьшения компонентов спутниковой платформы и ПН без ухудшения параметров компонентов.

3. Целевое уменьшение веса приведет к тому, что будут гарантированы:

– характеристики, аналогичные существующим,

– 40 % уменьшения веса ПН,

– 20 % уменьшения веса компонентов платформы,

– результирующее общее уменьшение веса спутника от 20 % до 40 %.

4. Полученные результаты НИОКР будут внедрены на спутниках большей размерности.

Подводя промежуточный итог рассмотрения программ разработки технологий в мировой аэрокосмической индустрии, можно констатировать, что метод дорожного картирования широко применяется всеми ведущими космическими агентствами для планирования, разработки и внедрения инноваций.

Подходы к организации корпоративной научно-технической деятельности

В настоящее время практически все крупные мировые коммерческие компании имеют свои собственные центры исследований и разработок, обеспечивающие их поступательное развитие, инкорпорированные в структуру корпораций, а сами

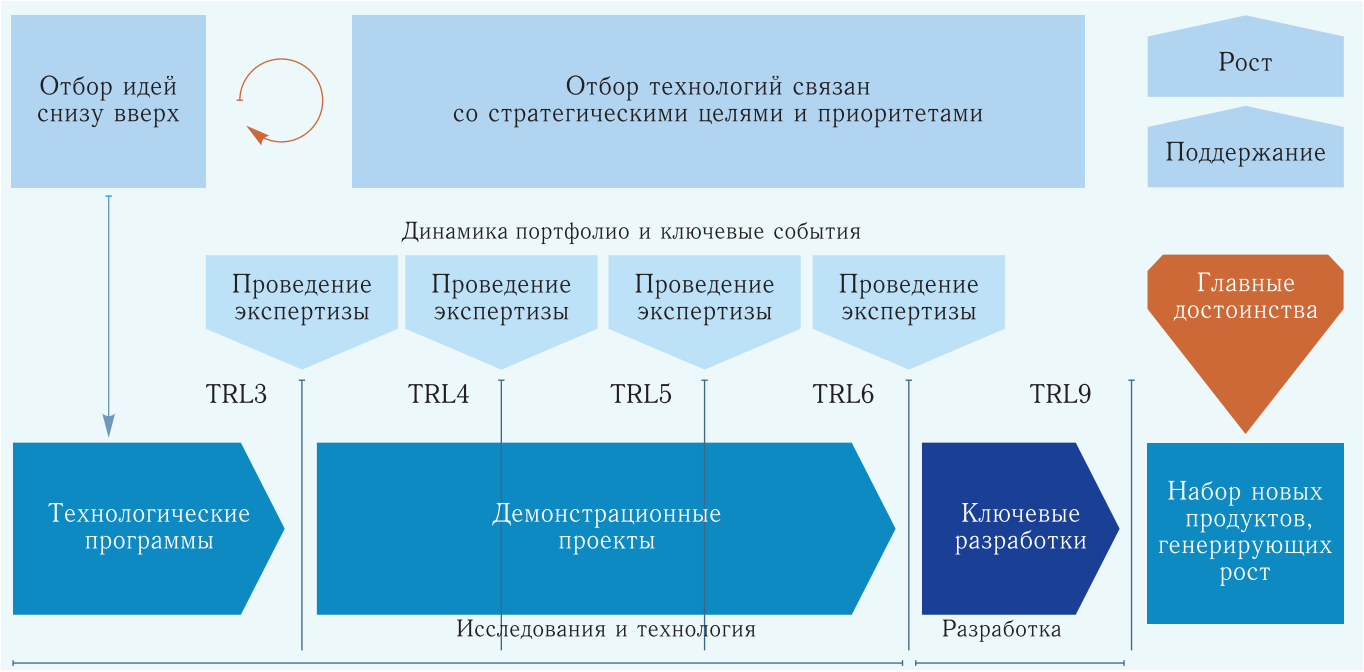

Рис. 5. Процесс создания инноваций в компании Airbus Defence and Space

корпорации представляют собой мощные научно-производственные объединения. При этом везде реализуется наиболее принятая модель полного инновационного цикла — непрерывного процесса получения «добавочной стоимости» продукции (генерация знаний — трансформация знаний в опытные разработки — коммерциализация технологий). Финансирование новых разработок в таких компаниях осуществляется за счет собственных инновационных фондов, а также путем привлечения средств госбюджета.

Рассмотрим теперь организацию работ в корпоративном центре исследований и разработок компании Airbus Defence and Space [17].

Инвестиции в инновации в данной компании разделены на две категории:

1. Исследования и технологии (R&T).
2. Исследования и разработки (R&D).

Из категории R&T финансируется изучение технологий на самых ранних стадиях готовности, в то время как категория R&D использует выявленные технологии для создания новых изделий и услуг. При этом 80% работ в категории R&T направлено на решение проблем соблюдения экологических требований.

Ежегодно группа тратит более 3 млрд евро на R&D. В 2014 г. 3,39 млрд евро было потрачено на R&D из собственных средств (2013 г. — 3,16 млрд). Затраты на R&D соответствуют приблизительно 5% средств, потраченных на разработку двух основных программ: A350 XWB и A320neo.

Схема процесса создания инноваций представлена на рис. 5. Отметим, что отбор идей, подлежащих проведению исследований, осуществляется по модели снизу вверх, когда тематика предлагается нижестоящими коллективами.

Центр перспективных технологий корпорации Lockheed Martin представляет собой наиболее совершенный пример, полностью интегрирующий прикладные научные исследования и разработки аэрокосмической промышленности США (рис. 6). Центр включает 235 лабораторий, географически распределенных в Силиконовой долине в Калифорнии и Денвере [18], 42 из которых сосредоточены на разработке аппаратуры. В центре работают более 700 инженеров, большинство из которых имеют ученые степени по широкому спектру технических дисциплин.

Начиная с 1950 г. центр сосредоточился на обслуживании заказчиков корпорации Lockheed

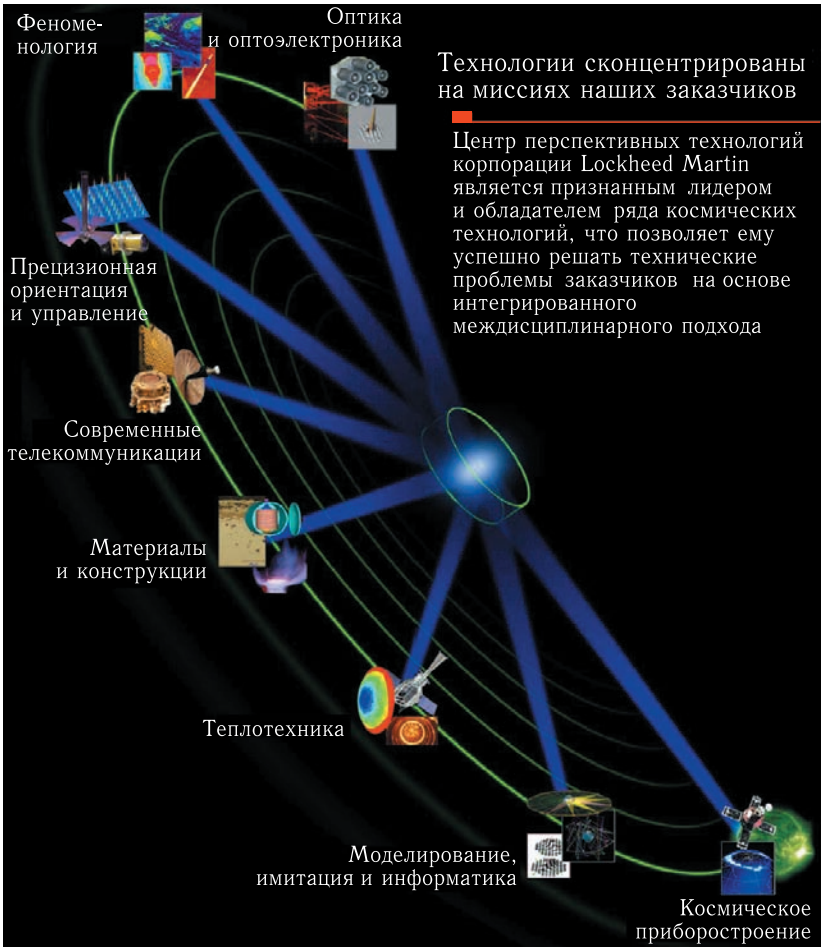

Рис. 6. Тематика центра перспективных технологий корпорации Lockheed Martin

Martin, обеспечивая внедрение технологических прорывов при реализации практических бизнес-решений на основе интегрированного междисциплинарного подхода.

Далее проведем анализ возможных подходов к организации корпоративной научно-технической деятельности АО «РКС» на примере реализации инновационного цикла, упомянутого выше.

Блок «Генерация знаний»

На этапе генерации знаний выполняются научно-исследовательские работы, направленные на выявление перспективных направлений развития, а также формируется прогноз появления новых технологий, обеспечивающих получение новой коммерческой продукции. Как правило, крупные корпорации только частично сами выполняют подобные исследования, в основном осуществляется поиск уже полученных новых знаний путем анализа результатов исследований, финансируемых государственными институтами развития.

В Российской Федерации таковыми являются результаты исследований институтов РАН, вузов и различных отраслевых НИИ, полученные при выполнении ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России» [19], а также поддержанных различными государственными фондами и институтами развития (РФФИ, фонд Сколково, Роснано, ФПИ и т. д.).

В Российском фонде фундаментальных исследований (РФФИ) практикуется такая форма организации поисковых ориентированных фундаментальных исследований, как совместные конкурсы

на выполнение НИР в интересах различных отраслей народного хозяйства и крупных корпораций (Роскосмос, Росатом, РЖД), когда тематика исследований задается потенциальным потребителем результатов с обеспечением долевого финансирования работ (50 % на 50 %) [20].

Учитывая потенциальную значимость привлечения к корпоративным исследованиям потенциала РАН и вузов, имеет смысл проработать принципиальную возможность организации такого подхода и в интересах АО «РКС». В данном подходе заслуживает внимания опыт создания в МФТИ корпоративного бизнес-факультета компании IBS, обеспечивший наполнение корпоративного центра R&D компании «головастиками», реализующими генерацию знаний собственными силами и при координации бизнес-сообщества.

Несмотря на кажущуюся простоту и очевидность подхода, указанная деятельность весьма ресурсоемка, т. к. требует привлечения высокопрофессиональных экспертов, деятельность которых должна оплачиваться соответствующим образом. В случае создания собственного Экспертного совета (25 членов и 5 человек аппарата) годовая потребность только на фонд оплаты труда может составить около 100 млн. руб.

Результатами деятельности данного блока являются:

– методология средне- и долгосрочного прогнозирования развития корпоративной научно-технической сферы космического приборостроения с учетом анализа российского и мирового уровней развития;

– выявление потребностей в новых знаниях и технологиях реальных высокотехнологичных секторов корпоративной экономики, стратегических задач и интересов развития корпорации, приоритетов научно-технического развития АО «РКС» на среднесрочную перспективу;

– формирование и корректировка с помощью разработанного методического инструментария средне- и долгосрочного прогноза развития научно-технических направлений деятельности АО «РКС»;

– оценка соответствия уровня технологической готовности для последующей коммерциализации разработки, а также результатов соответствия реализуемых проблемно-ориентированных поисковых исследований прогнозу развития научно-технической сферы;

– отбор идей для разработки потенциально коммерциализируемых технологий в области космического приборостроения;

– подготовка экспертных заключений на реализуемые проблемно-ориентированные поисковые исследования с оценкой соответствия их уровня и результатов российскому и мировому.

При оценке результативности деятельности в блоке генерации знаний являются индикаторами и учитываются:

– доля завершенных проектов научно-исследовательских работ по утвержденной программе научно-технической деятельности АО «РКС», перешедших в стадию опытно-конструкторских работ с целью разработки конкурентоспособных технологий для последующей коммерциализации;

– число публикаций в ведущих научных журналах, содержащих результаты интеллектуальной деятельности, полученные в рамках выполнения проектов проблемно-ориентированных поисковых исследований;

– число патентов (в том числе международных) на результаты интеллектуальной деятельности, полученные в рамках выполнения проектов проблемно-ориентированных поисковых исследований и используемых в технологиях, разрабатываемых для коммерциализации;

– число диссертаций на соискание ученых степеней, защищенных в рамках выполнения проектов проблемно-ориентированных поисковых исследований.

Блок «Разработка технологий»

Для трансформации знаний, полученных в блоке генерации, в корпоративных центрах наиболее часто применяется проектный подход с использованием междисциплинарных команд создания интегрированных продуктов (15–25 человек). При этом в основу разработки прикладных технологий положены принципы прикладного системного инжиниринга [21], использующие применение методов системного анализа и системного проектирования конечной коммерциализируемой продукции. Реализуется основной принцип командной работы

в проекте: «одна разработка — один проект». По завершении разработки проект распускается или переходит в другие проекты. Очень часто итогом работы проектов является создание и выделение в самостоятельные юридические лица высокотехнологичных малых предприятий с самостоятельным направлением деятельности по принципу spin-off (spin-out).

Результатом деятельности указанного блока является создание опытных образцов предполагаемой к коммерциализации продукции, подтверждающих возможности перспективного использования (proof of concept) с достижением уровня технологической готовности разработки, достаточного для перехода к серийному производству и коммерциализации, включая выпуск полного комплекта документации. Подтверждением указанного уровня является успешная реализация одного или нескольких пилотных проектов на объектах потенциального заказчика.

При реализации блока «Разработка технологий» научно-технической деятельности корпоративного центра проводится оценка соответствия уровня и результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ мировому уровню, а также реализация эффективной корпоративной политики в области учета, контроля и распоряжения результатами научно-технической деятельности, полученными как за счет собственных средств АО «РКС», так и за счет средств государственного бюджета.

Индикаторами выполнения предлагаемого подхода являются:

– достигнутый уровень технологической готовности разработанных технологий;

– аналитические материалы по оценке конкурентоспособности корпоративного сектора исследований и разработок;

– уточнение приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в АО «РКС»;

– оценка результативности и эффективности деятельности корпоративного центра исследований и разработок;

– методология учета, правовой охраны и защиты прав на результаты научно-технической деятельности и предложения по ее совершенствованию;

– подготовка экспертных заключений на реализуемые научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы с оценкой соответствия их уровня и результатов мировому уровню.

Блок «Коммерциализация технологий»

Данный блок работ обеспечивает реализацию инновационных проектов корпоративного значения, представляющих собой комплекс взаимоувязанных по ресурсам, исполнителям и срокам мероприятий, которые направлены на достижение необходимого уровня экономической эффективности — получение значимого экономического эффекта, имеющего значение для экономики АО «РКС» в целом, а также на решение наиболее актуальных задач в социальной сфере, в первую очередь задач, связанных с повышением качества жизни населения.

Основные особенности таких проектов заключаются в следующем: проекты призваны обеспечить конкурентоспособность продукции российских производителей, а также способствовать усилению их позиций как на внутреннем, так и на внешнем рынках.

В рамках каждого проекта предусматривается реализация цикла работ от создания перспективного инновационного продукта, имеющего значительный потенциал для коммерциализации, до освоения промышленного производства новой и усовершенствованной высокотехнологичной продукции и начала ее успешной реализации на рынке. Отобранные проекты предусматривают концентрацию финансовых ресурсов в отношении ограниченного числа приоритетных проектов.

Общий объем финансирования проекта может составлять 1–2 млрд рублей. Продолжительность реализации проекта — не более 4 лет.

В соответствии с условиями заключенного контракта исполнители проекта обязаны обеспечить пятикратное превышение объемов продаж созданной новой и усовершенствованной высокотехнологичной продукции относительно затраченных на проект средств. Таким образом, будет осуществлена полноценная коммерциализация научно-технических результатов и обеспечен рост производства новой и усовершенствованной высокотехнологичной продукции.

Индикаторами выполнения мероприятий данного блока являются:

– число внедренных в практику передовых технологий;

– число патентов (в том числе международных) на результаты интеллектуальной деятельности, полученные в рамках выполнения проектов;

– число публикаций, содержащих результаты интеллектуальной деятельности, полученные в рамках выполнения проектов;

– объем новой и усовершенствованной высокотехнологичной продукции, произведенной в результате реализации проектов;

– объем экспорта новой и усовершенствованной высокотехнологичной продукции, произведенной в результате реализации проектов;

– число новых рабочих мест для высококвалифицированных работников, созданных в рамках реализации проектов.

Второе направление деятельности в рамках блока коммерциализации предусматривает реализацию инновационных проектов в интересах дочерних организаций АО «РКС» по предлагаемой им тематике на условиях частно-государственного партнерства. Со стороны бизнеса в качестве инициаторов проектов в рамках мероприятия выступают высокотехнологичные промышленные организации любых организационно-правовых форм и форм собственности, а также инновационные промышленные взаимосвязанные компании, научно-исследовательские и образовательные организации, взаимодополняющие друг друга и обеспечивающие конкурентные преимущества. В рамках таких проектов государство, как правило, финансирует часть научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ при условии, что остальные расходы (подготовка производства, расходы на рекламу, маркетинг и др.) несут сами компании. При этом компаниям предоставляется возможность непосредственно участвовать в формировании конкурсной документации и в экспертизе проектов. Тематика проектов должна соответствовать приоритетным направлениям утвержденной программы научно-технического развития АО «РКС».

Срок реализации проекта составляет не более 3 лет. Объем финансирования проекта за счет средств федерального бюджета — до 100 млн руб. в год, уровень внебюджетного софинансирования должен быть не менее 70 % общего объема финансирования проекта.

Возможная бизнес-модель для финансирования НИР может включать выделение «инновационного процента» из ежегодной чистой прибыли АО «РКС», направляемого на финансирование научных разработок по основным направлениям научно-технической деятельности.

Критические (системные) технологии космического приборостроения

Приведенные рассуждения особенно актуальны в свете новых подходов, использованных при формировании Федеральной космической программы России на 2016–2025 гг.:

1. Прежде всего в программу введен проектный принцип выполнения работ: организационное объединение в рамках одного проекта всей совокупности НИОКР, прочих затрат и государственных капитальных вложений, направленных на решение одной целевой задачи.

2. Обеспечены опережающее создание и летная отработка новых ключевых технологий, приборов и систем в рамках самостоятельных ОКР, предусматривающих открытие перспективных ОКР на создание космических комплексов только при наличии новых ключевых технологий, приборов и систем, подтвердивших свою реализуемость и эффективность.

3. По всем направлениям НИОКР введены НИР по анализу зрелости критических технологий и их внедрению в разрабатываемые на стадии ОКР космические комплексы и системы.

4. В Раздел II ФКП-2025 «Прочее» введены услуги: по научно-техническому и технологическому сопровождению на всех этапах жизненного цикла космической техники, управлению программой, размещению и исполнению государственного оборонного заказа, контролю качества работ при создании изделий ракетно-космической техники, информационно-аналитическому сопровождению разработок, согласования и реализации ФКП-2025, авторскому надзору и повышению надежности РКТ,

Таблица 2. Перечень критических технологий космического приборостроения

Направления развития критических приборных (системных) технологий	Критические технологии
Технологии создания НАКУ КА, ИКК и информационно-телекоммуникационных систем	Технологии позиционирования КА, РН, РБ по полям ГЛОНАСС/GPS
	Технологии ретрансляционного управления КА через МКСР «Луч», расширение функциональных возможностей МКСР
	Технологии приема и передачи служебной информации в Ка-диапазоне радиочастот
	Технологии большебазовой радиоинтерферометрии
Технологии создания бортовых и наземных комплексов и приборов	Технологии «система на кристалле» для создания бортовых приборов
	Технология изготовления устройств поляризационной развязки
Технологии создания бортовой аппаратуры для исследований дальнего космоса	Технология построения интегрированных систем управления и радиообеспечения на основе роботизации
	Технологии использования высокочастотных диапазонов (Ка-диапазон)
Технологии создания информационно-телеметрических комплексов	Технологии сокращения избыточности и повышения достоверности передаваемой ТМИ
	Технологии ИБИС «система на кристалле» и «система в корпусе»
	Технологии передачи измерительной информации через российские спутниковые системы связи

находящейся в серийном производстве и эксплуатации.

5. Введены летные образцы КА. Увеличены до 2 и более лет сроки их отработки до начала развертывания орбитальных группировок.

6. Сокращены планируемые сроки выполнения ОКР до 5–7 лет.

Сводный перечень критических приборных (системных) технологий, развиваемых в НИОКР АО «РКС», приведен в табл. 2. Технологии сгруппированы по направлениям, в которых АО «РКС» назначено головной научно-исследовательской организацией отрасли. Основные технологические тренды на долгосрочную перспективу показаны на рис. 7.

Выводы и рекомендации:

1. В статье представлены новые подходы к формированию научно-технического задела по работам в организациях интегрированной структуры космического приборостроения. Показано, что переход в шестой технологический уклад невозможен без реорганизации механизма организации и выполнения научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ.

2. Проанализированы дорожные технологические карты космической индустрии США, ЕС, Японии. Все перечисленные страны при разработке технологий реализуют проектно-целевой метод, направленный на своевременное достижение необходимого уровня технологической готовности разработок в рамках создания новой продукции.

3. Отмечается наличие отдельной демонстрационной стадии в технологических миссиях, обеспечивающей получение необходимой летной квалификации инновационных разработок.

4. Показано, что ведущая группа аэрокосмических компаний Европы (Airbus Defence and Space) ежегодно тратит более 3 млрд евро на НИОКР.

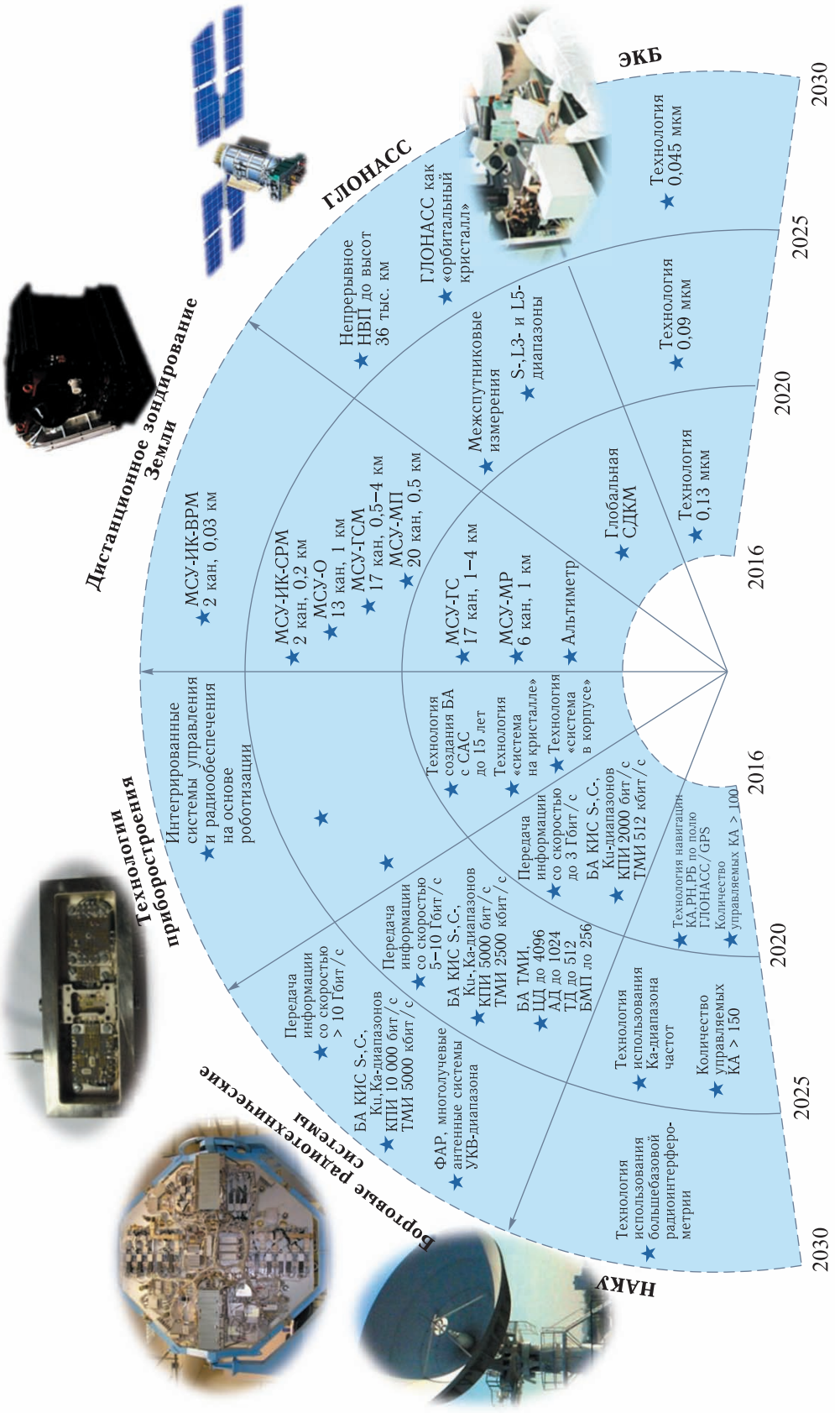

Рис. 7. Прогноз развития основных направлений технологического развития в АО «РКС»

В 2014 г. было потрачено 3,39 млрд евро из собственных средств (в 2013 г.—3,16 млрд евро). Затраты на НИОКР соответствуют приблизительно 5 % средств, потраченных на разработку двух основных программ: A350 XWB и A320neo. Ряд компаний ставит вопрос о выделении на финансирование НИОКР из собственных средств до 12–15 %.

5. Проведен анализ возможных подходов по организации корпоративного центра исследований и разработок АО «РКС». Представлены основные направления развития технологий космического приборостроения по направлениям, в которых АО «РКС» определено головной научно-исследовательской организацией Госкорпорации «Роскосмос». Представлены тренды развития перспективных системных и производственных технологий, определяющих пути развития ракетно-космического приборостроения до 2030 г.

Список литературы

1. Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники и перечня критических технологий Российской Федерации: Указ Президента РФ от 7 июля 2011 г. № 899. [Сайт администрации президента России]. URL: http://static.kremlin.ru/media/events/files/41d38565372e1dc1d506.pdf
2. Федеральная космическая программа России на 2016–2025 гг.
3. *Буренок В. М.*, *Ивлев А. А.*, *Корчак В. Ю.* Программно-целевое планирование и управление созданием научно-технического задела для перспективного и нетрадиционного вооружения. М.: ИД «Граница», 2007. 408 с.
4. *Mankins J. C.* The critical role of advanced technology investments in preventing spaceflight program cost overruns // The Space Review, 2008.
5. *Mikulskienė B.* Research and development Project management, Study book. Mykolo Romerio universitetas, 2014. 109 p.
6. *Jincao W. and Kleiner B. H.* The evolution of R&D management // Management Research News, 2005, vol. 28, No. 11/12. P. 88–95.
7. *Kerzner H.* A Project Management Maturity Model. John Wiley & Sons, Inc., 2001.
8. *Крюкова Т. М.* Технологические уклады как основа развития общественного производства и инновационной деятельности путем реализации промышленной политики в современных условиях хозяйствования и управления, Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева, 2015, № 3(110). С. 287–293.
9. *Phaal R.* Roadmapping for strategy and innovation. Centre for Technology Management Institute for Manufacturing, University of Cambridge, 9 March 2015, P. 1–7.
10. Основные методологические подходы по разработке дорожных карт по приоритетным направлениям научно-технологического и инновационного развития Минобрнауки РФ, 2011, г. Москва, 86 с.
11. OMB Circular A-11, Appendix J; NPR 7120.5 (latest version), NASA Space Flight Program and Project Management Requirements; EIA-748 Standard for Earned Value Management Systems (see the Regulations/Requirements webpage for further details).
12. Technology Readiness Assessment (TRA) Deskbook, Department of defense of U.S., May 2005.
13. 2015 NASA Technology Roadmaps, http://www.nasa.gov/offices/oct/home/roadmaps/index.html
14. *Ritter H.*, *Marraffa L.*, *Ferracina L.*, *Longo J.* ESA Technology Roadmaps ongoing and planned developments. 7th European Workshop on Thermal Protection Systems & Hot Structure, 8 April 2013.
15. *Tsujihata A.* Strategy and R&D for Space Applications Mission. Microelectronics Workshop, 11 October 2010.
16. *Huadong Guo*, *Ji Wu*. Space Science & Technology in China: A Roadmap to 2050, Science Press Beijing and Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2010, 24 p.
17. Responsibility made by AIRBUS GROUP, 2014 corporate responsibility & sustainability report.
18. Space Systems Company Advanced Technology Center. Building the Future through Innovation, 2007 Lockheed Martin Corporation, 45 p.
19. Концепция федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России» на 2014–2020 гг., утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации 2 мая 2013 г. № 736-р. 54 с.
20. *Цыганов С. А.*, *Рудцкая Е. Р.*, *Хрусталев Е. Ю.* Принципы построения стратегии инновационного развития российской экономики // Стратегия экономического развития, 2013, 41(344). С. 2–14.
21. *Романов А. А.* Прикладной системный инжиниринг. М.: Издательство ФИЗМАТЛИТ, 2015. 556 с.