Вестник ЦЭМИ РАН. 2018-2023

ISSN 2658--3887

URL - <http://cemi.jes.su>

Все права защищены

Выпуск 3 Том 1. 2018

Экономико-математические методы в планировании отрасли космического машиностроения (научно-практический опыт и перспективы)

Бендиков Михаил Абрамович

*Центральный экономико-математический институт РАН
Российская Федерация, Москва, Нахимовский проспект, 47*

Аннотация

Цель исследования: системный анализ специфики экономики отрасли ракетно-космического машиностроения и учет особенностей в методологии её стратегирования и долгосрочного планирования. Сделан акцент на использовании в этих целях экономико-математических методов, в том числе агент-ориентированного моделирования процесса формирования целевых комплексных программ развития отрасли, обоснования реализуемости программ, оценки их эффективности. Рассматривается опыт использования экономико-математических моделей, методов прямой оптимизации и других аналитических методов в системе поддержки принятия планово-управленческих решений при программно-целевом планировании отрасли, а также ряд перспективных направлений научных исследований в области космической техники.

Ключевые слова: космическая деятельность, планирование, программно-целевой подход, жизненный цикл, экономико-математические методы, агент-ориентированное моделирование, информационная технология

Дата публикации: 12.01.2019

Ссылка для цитирования:

Бендиков М. А. Экономико-математические методы в планировании отрасли космического машиностроения (научно-практический опыт и перспективы) //

¹ **Вводная часть. Миссия и специфика отрасли.**

² Ракетно-космическое машиностроение изначально признано в ряде стран важнейшим приоритетом государственных интересов. Основная продукция представлена ракетами космического назначения и космическими аппаратами, баллистическими и крылатыми ракетами, ракетными двигателями, приборами и оборудованием наземной инфраструктуры. Львиная доля продукции мировой ракетно-космической индустрии имеет гражданское и научное применение. Динамично развивается космический сектор мирового высокотехнологичного рынка.

³ Прикладные результаты исследований в ракетно- и спутникостроении, космические технологии широкого применения служат укреплению обороноспособности и безопасности, стали драйвером социально-экономического развития, международного сотрудничества, создания глобального информационного пространства, открыли перед бизнесом новые рынки с прежде недостижимыми горизонтами их глобализации, эффектами масштаба.

⁴ В России отрасль сформировалась как научный, испытательный, производственный и эксплуатационный специализированный комплекс, что позволяет решать все проблемы создания ракетно-космической техники (РКТ) от фундаментальных и прикладных научных исследований и опытно-конструкторских работ (НИОКР) до серийного производства и эксплуатации техники.

⁵ Коммерческая РКТ не является завершающим звеном в цепочке создания новой стоимости на её основе. Соответствующим образом построена система ценообразования (рис.). Главная роль в увеличении и консолидации финансовых поступлений принадлежит компаниям, оказывающих широкий спектр услуг космической деятельности¹, наращивающих их объемы. Это направление в рыночных экономиках стремительно обособилось и коммерциализировалось.

⁶ Создание научно-технического задела РКТ обеспечивается выполнением дорогостоящих и продолжительных по времени научных исследований и конструкторских разработок. Финансирование НИОКР и производства оборонной РКТ является прерогативой государства. Исследования и разработки, необходимые для создания РКТ двойного и гражданского назначения, с учетом рисков достижения требуемых результатов, а также слабой заинтересованности бизнеса в удалённой по времени их доходности, осуществляется, как правило, в рамках государственно-частного партнерства при доминантной финансовой поддержке государства [11, 18, 29].

Рис. Цепочка ценностей на космическом рынке

⁸ Мировой космический рынок² сегментирован по видам деятельности на услуги: выведения полезных грузов; приобретения космических аппаратов; продаж наземного оборудования; IT-компаний операторов. В стоимостном выражении эти сегменты находятся в примерной пропорции 1:2,6:11,3:23,6 [29], то есть рынок выведения в космос полезных грузов, где позиции России традиционно сильны, самый малоодоходный. Российская доля на мировом космическом рынке не превышает 2%. К 2035 году доля России на коммерческом мировом космическом рынке согласно прогнозным расчетам не превысит 2,0–2,5%, что существенно меньше значимых 7–10%, которые необходимы для вхождения в тройку ведущих космических держав (тот же источник). Маржинальность бизнеса, связанного с производством средств выведения полезных грузов в космос, находится под усиливающимся давлением ценовой конкуренции [34], в том числе со стороны новых участников-инноваторов, добивающихся успехов в создании новых бизнесов в сфере РКТ и её использования³.

⁹ Статистически и функционально в отрасли РКТ выделяют два сектора – промышленный (включает предприятия, выпускающие товарную продукцию и выполняющие опытные работы по созданию образцов РКТ) и научный (включает организации, цель которых – исследования и разработки, т.е. создание научно-технического задела). Определяющим для развития отрасли РКТ, космонавтики и её приложений является сектор НИОКР и система его финансирования.

¹⁰ Масштаб выполняемых НИОКР выделяет отрасль из общего ряда других машиностроительных отраслей. Следствием является не только специфика её

целеполагания, но и стратегирования и планирования, которые призваны обеспечить в том числе синхронизацию создания научно-технического задела и готовности производственной базы к его реализации. Такое развитие обоих секторов, его предприятий, является сложной научно-технической, производственной и социально-экономической задачей. Недопустимы, с одной стороны, отставание сектора НИОКР в создании опережающего научного и конструкторского задела, что влечёт за собой системную неэффективность (в том числе целевую) промышленного сектора, а с другой – слабая адаптивность к конструктивно-технологическим изменениям РКТ промышленного сектора, следствием чего является неэффективность инвестиций в сектор НИОКР, торможение его развития. Несбалансированное развитие секторов отражается также на загрузке предприятий, их социально-экономическом состоянии.

11 Система стратегирования и планирования развития отрасли РКТ, её методологическая основа и инструментарий.

12 Стратегирование и планирование отрасли РКТ – это сложное сочетание научно-технического и социально-экономического прогнозирования, долгосрочного и текущего производственного планирования машиностроительных корпораций и предприятий, тематического планирования НИОКР, выполняемых научно-исследовательскими организациями, планирования капитальных инвестиций, согласования планов, программ и стратегий развития научной, испытательной, промышленной базы.

13 Управление отраслью как научно-производственным комплексом, выполняющим фундаментальные и прикладные НИОКР в объёме, сравнимом с объёмом промышленного производства, потребовало учета этой специфики в методологии, инструментарии и информационном обеспечении его прогнозирования и долгосрочного планирования.

14 Методологические исследования были направлены на решение управленческих задач на всех уровнях: государственном, межотраслевом, отраслевом, корпоративном.

15 Экскурс в научные публикации позволяет сделать вывод, что основы методологии долгосрочного планирования космической деятельности, заложенные в СССР и США, имели много общего.

16 В качестве главного инструмента планирования при реализации большого космического проекта⁴, обеспечившего прорыв в космос и технологиях, были призваны целевые комплексные программы, масштабные по составу задач и требуемых для их реализации ресурсов. Программы объединяли направления и задачи фундаментальных и прикладных научных исследований, развития наземной и морской информационно-управленческой инфраструктуры, научно-экспериментальной и промышленной базы. Программы отличали не только масштабность, но и новизна научных, конструкторских и производственных задач, их сложность и стратегическая важность.

17 Технология программно-целевого планирования промышленности РКТ базировалась на системе методологических принципов, главные из которых:

целевая направленность и эффективность программ; единство цели, средств, путей и этапов её достижения; государственный протекционизм; адаптивность потенциала отрасли к структурным технологическим сдвигам; научная, технологическая и производственная независимость России в сфере РКТ.

¹⁸ Методология программно-целевого подхода позволила реализовать непрерывную, регулярно повторяющуюся технологию управления и планирования ограниченных бюджетно-финансовых ресурсов на основе системы ППБ «планирование – программирование – бюджетирование» (в США она получила название Planning-Programming-Budgeting System – PPBS).

¹⁹ В основу долгосрочного планирования развития РКТ также была положена идея управления полным жизненным циклом (контрактом) создания РКТ (от концептуального этапа зарождения замысла и проведения необходимых исследований до подготовки производства и непосредственно производства, эксплуатации и утилизации продукта).

²⁰ Методология позволила системно решать задачи прогнозирования развития космонавтики и различных видов создания РКТ с последующей объективацией результатов в крупномасштабные целевые программы и проекты⁵.

²¹ Структурно программы состояли из комплекса целереализующих работ и мероприятий, выполняемых в строго определенной последовательности, взаимоувязанных между собой как по времени, так и с возможностями их исполнителей, а также с внешними и внутренними источниками финансирования. Каждая работа завершалась достижением требуемого результата к заданному сроку. В случае необходимости усилия и ресурсы концентрировались на критическом пути выполнения работы.

²² Методология программно-целевого планирования позволила учитывать мобилизационный, прорывной характер развития отрасли РКТ, обусловленный жёсткой внешней и внутренней конкуренцией, необходимостью участия в решении оборонных, политических и социально-экономических задач с большим системным эффектом. Управление изменениями влекло за собой постановку новых задач и разработку нового инструментария их качественного и оперативного решения.

²³ Вкладом в методологию стратегического планирования отрасли РКТ стала разработка системной концепции согласования стратегических целей отрасли РКТ в условиях международной конкуренции в сфере ракетно-космических технологий и путей развития ее научно-технического и производственного потенциала; оптимального использования финансовых, материальных и трудовых ресурсов [7, 3, 8, 13, 14].

²⁴ Были выявлены особенности и закономерности разработки и производства РКТ, осуществлена структуризация программно-плановых задач, их системное моделирование, созданы нормативная база и система методик, разработан уникальный программно-аппаратный комплекс с современной СУБД, базой знаний и интеллектуальными интерфейсами.

25 Комплекс воплотил в себе алгоритмизацию и автоматизацию процесса принятия управленческих решений при долгосрочном планировании отрасли РКТ. Впервые был создан оригинальный модельный стенд отрасли наукоёмкого и высокотехнологичного машиностроения, позволивший в интерактивном, циклическом процессе формировать отраслевые программы и планы НИОКР и планы серийного производства предприятий, согласовывать эти планы между собой и с объемами финансирования государственного заказа, а также с объемами капитальных инвестиций.

26 Комплекс моделей и информационная технология планирования в целом обеспечивали поддержку принятия управленческих решений по всему спектру задач отрасли, определяемых в концепции и в основных направлениях её развития на 15-летний период, в пятилетних и годовых планах. Процесс осуществлялся в режиме циклического, скользящего планирования с тактом в один год, информационная технология была встроена в существующую систему народнохозяйственного и отраслевого планирования.

27 Позднее для целей управления и планирования высокотехнологичной отраслью машиностроения была также разработана модельно-программная реализация принципиально иной, территориально распределенной автоматизированной системы, реализующей процесс формирования отраслевых планов «снизу», с уровня предприятий. Её методология, управленческие и информационные функции в дальнейшем были реализованы в управлении всем оборонно-промышленным комплексом России уже на основе современных информационно-коммуникационных технологий, их аппаратно-программных средств.

28 Следует отметить, что проблеме сбалансированности развития секторов отрасли РКТ, вопросам оптимизации планово-управленческих решений в системах поддержки принятия управленческих решений изначально уделялось внимание. Судя по документальным и научным источникам, впервые вопросы поддержки принятия стратегических и оперативных управленческих решений в отрасли РКТ рассматривались в NASA⁶ в 1969 году. Тогда по заданию NASA основные аспекты процесса долгосрочного планирования ракетно-космической деятельности исследовались учеными Гарвардской высшей школы деловой администрации, Стэнфордского исследовательского института, Гудзоновского института и стратегического исследовательского центра – корпорации RAND. В результате исследования были определены возможности использования различных методов системного анализа, охватывающих широкий диапазон аналитических методов для целей долгосрочного планирования, имеющих большое значение для NASA и управления развитием РКТ и астронавтики [30].

29 После этого появились многочисленные научные публикации (см. тот же источник), посвященные более конкретным результатам исследований по этой теме. Речь шла об использовании математического аппарата в практике управления и планирования ракетно-космической деятельности на государственном и корпоративном уровне. Рассматривались различные методы и подходы, в частности, использование линейного программирования, теории игр, системного анализа и др.

30 Относительно оптимизации планово-управленческих решений ещё тогда утверждалось, что, например, линейное программирование, в принципе, можно использовать при решении задач, которые удовлетворяют требованиям: существует цель, которую можно выразить количественно экономическими показателями; имеется общая количественная мера системной эффективности вариантов решений; выделяемые и распределяемые ресурсы имеют верхний предел; альтернативные ресурсы можно сравнивать. Но в отношении космических проектов был сделан вывод, что большинство основных задач, связанных с управлением и долгосрочным планированием в NASA, где главенствует целевая (не экономическая) эффективность, довольно трудно структурно формализовать так, чтобы их можно было решить с помощью линейного программирования или с помощью каких-либо других методов математического программирования⁷ [30, 31].

31 Отчасти и последующая отечественная практика подтвердила этот вывод даже при решении задач, в которых фактор отраслевого экономического оптимума имел место и значение. Хотя теория оптимального планирования отраслей и предприятий, формальные методы экономической оптимизации были достаточно развиты, они не нашли широкого практического применения. Причины этого были системного, организационного, информационного, технического и даже психологического свойства. Главные из них:

32 - планы производства формировались не аппаратом министерств, а снизу, с подведомственных предприятий, специалисты которых в своём большинстве не обладали компетенциями в теории оптимизации экономических решений;

33 - система оптимального планирования производства не укладывалась в жесткий регламент действующей «бумажной» технологии планирования производства, поскольку требовала большой объем подготовительных работ, верификации информации, баз и средств хранения и передачи массивов информации.

34 Современная практика также свидетельствует, что управленческие решения принимаются эмпирико-экспертным способом, поскольку нет уверенности в работоспособности научного аппарата поддержки и принятия управленческих решений в системе действующих институтов, где фактически эти решения (прежде всего стратегического характера) и принимаются – такие решения требуют большого объёма исходной информации [17].

35 Тем не менее, при планировании знаниеёмкой деятельности отрасли РКТ нашлось много других областей и задач, где использование экономико-математических методов оказалось вполне эффективным. Но не оптимизационных методов, а методов имитационного и ситуационного моделирования, логистических функций, системного анализа и т.п., позволивших повысить системную обоснованность планово-управленческих решений [2, 7]. Это касалось в первую очередь семейства эконометрических моделей полных жизненных циклов темы⁸, разработанных на основе нормативов стоимости, продолжительности и интенсивности выполнения работ, а также на основе

разработок тем-аналогов, методов оценки технико-экономической реализуемости тем [4, 5].

³⁶ Это возможно, поскольку тема (продукт) обладает четкой многоуровневой структурой (организационной, технической, финансовой, информационной), строго конкретными составом и сроками подлежащих выполнению работ. Для каждой работы определены очерёдность и система технико-экономических показателей её выполнения. При разработке и производстве РКТ в общем случае состав работ является топологией многоуровневой структуры РКТ как технической системы: технический комплекс, часть комплекса, система, работа [11].

³⁷ В настоящее время, когда возникают проблемы с реализацией аэрокосмических проектов и учётом гипотетических или реальных неопределённостей, перерасходом бюджетных средств, срывом установленных сроков, у американских законодателей больше всего вопросов именно к моделям планирования и ценообразования [32, 34]. Претензии предъявляются к их способности учитывать неопределённости и изменения в современной производственной, операционной и технологической среде промышленных предприятий; к вторичности критериев технико-экономических обоснований по отношению к поставленным целям и задачам проектов; к слабости контроля ценообразования и его непрозрачности на предприятиях (всё точь-в-точь как на отечественных предприятиях, выполняющих госзаказ).

³⁸ **Направления совершенствования методологии и технологии планирования отрасли РКТ.**

³⁹ Изменения в хозяйственно-институциональной среде современной нестационарной экономики России и в системе управления отраслью РКТ требуют новых подходов к совершенствованию методологии планирования развития её научно-промышленного комплекса [20].

⁴⁰ В повышении эффективности прежде всего нуждается система стратегического целеполагания освоения космического пространства и космических технологий, развития отрасли РКТ, её производственной и научно-экспериментальной базы, где много проблем, неопределённостей, начатых и неостребованных дорогостоящих проектов [9, 10, 11, 12, 29]. Два направления очевидны – гарантированное выполнения госзаказа и повышение коммерческой эффективности, снижение нагрузки на федеральный бюджет, который не в состоянии выполнять свои обязательства по реализации принятых федеральных космических программ.

⁴¹ Третье направление – проблема согласования продуктовых программ и формирования долгосрочных планов развития наукоёмкой отрасли (или корпоративного комплекса), которая является на самом деле одной из принципиальных и сложных. При планировании необходимо учитывать не только научно-технические, технологические, производственные, временные, стоимостные аспекты разработки, испытаний и производства инновационной продукции, развития основных фондов и инфраструктуры, но и вопросы состояния, развития и существования кадрового потенциала, выполнения

предприятием социально-экономической функции. Необходимо учитывать и рассматривать как проблематику сохранения высококвалифицированного персонала в условиях неравномерной загрузки головных предприятий, часто ориентированных даже не на малосерийное, а на единичное, штучное производство (каким является, например, изготовление уникального космического аппарата), так и вопросы социальной стабильности, часто отягощенные градообразующим характером предприятий и объектов инфраструктуры ракетно-космической промышленности. Неопределенность фронта работ из-за отсутствия заказов и переходящих заделов должна парироваться как ответственным планированием, так и мерами диверсификации предприятий, социального и профессионального обустройства кадрового потенциала. На современный взгляд, это сфера будущего применения агент-ориентированных моделей в долгосрочном планировании космической отрасли с учетом социальных аспектов.

⁴² Для обоснования и повышения целевой эффективности проектов и уровня коммерциализации космической деятельности может использоваться арсенал новых аналитических методов. Из них можно отметить метод структурного анализа реализующей среды национальной космической деятельности, повышения её конкурентоспособности [26], а также межсекторного (публичного и частного секторов, их конвергенции, где много этических и психологических проблем) взаимодействия внутренней и внешней сред отрасли. Другое новшество – использование в планировании результатов агент-ориентированного моделирования, позволяющего учесть не только вычислимые ограничения, но и некоторые трудно или слабо формализуемые факторы социального, экологического, регионального характера [22, 23, 24].

⁴³ Так, например, методология и интерактивный инструментарий агент-ориентированного моделирования позволили разработать и апробировать концепцию мультиагентной системы «RussianSpace» [25], имитирующей деятельность предприятий корпорации «Роскосмос». Система представляет собой платформу блочной архитектуры, базирующейся на общей информационной базе. Каждый блок – суть самостоятельная модель, имитирующая тот или иной процесс, присущий деятельности корпорации. Блочная архитектура платформы позволяет поэтапно расширять возможности системы без её реконструкции, фокусировать управление не только на общей системе, но и на избранных ЛПР локальных моделях-процессах или их совокупностях. Блочная структура платформы позволила построить стенд для испытаний не только мультиагентной, но и multifunctionальной системы управления предприятиями корпорации (отрасли) и реализуемыми ими проектами. Для этого информационная база содержит детальное описание полного жизненного цикла каждого проекта, его характеристик, а также технико-экономические показатели потенциала каждого предприятия отрасли.

⁴⁴ При несомненной научной ценности результатов разработки и апробации агент-ориентированной имитационно-ситуационной модели отрасли РКТ, вопрос о промышленной эксплуатации модельного стенда для целей её стратегирования и планирования остаётся открытым. На самом деле для эксплуатации подобных систем необходима организация соответствующей службы в структуре органа

управления, выполняющего функцию стратегирования и долгосрочного планирования отрасли РКТ.

⁴⁵ В принципе, каждый научно-технический проект изначально предполагает оценку с точки зрения его реализуемости и эффективности. Решение этих важных задач, на наш взгляд, полностью укладывается в концепцию мультиагентного взаимодействия и его ситуационного моделирования. **Об оценке технико-экономической реализуемости как подсистеме планирования.**

⁴⁶ Если обратиться к вопросу оценки реализуемости, то он особо важен для проектов, в которых высока доля поисковых и фундаментальных НИОКР, а возможности достижения целей проекта зависят от их результатов [6]. Эта зависимость обуславливает проектные риски и необходимость парирования их реальных и гипотетических угроз.

⁴⁷ В системе стратегического планирования показатели оценок реализуемости проекта (ОРП) используются для анализа и планирования ресурсной обеспеченности проекта. Цель оценки, её суть заключается в выявлении дисбалансов в ресурсной обеспеченности проекта, необходимости удовлетворения проекта всем ограничениям его реализации, принятии мер реагирования на выявленные дисбалансы.

⁴⁸ По степени рисков проекты делятся на два типа в зависимости от степени обеспеченности научно-техническими заделами. При отсутствии заделов для реализации проекта требуется проведение фундаментальных и/или прикладных поисковых исследований, при этом возникают риски достижимости цели проекта в требуемые сроки. Сдвиг сроков, как правило, ведёт к удорожанию работ, требует дополнительной ресурсной поддержки.

⁴⁹ Реализуемость проекта необходимо рассматривать, по крайней мере, в четырёх лимитных аспектах: научно-техническом, производственно-технологическом, ресурсном, временном.

⁵⁰ В общем случае в рамках программно-целевой методологии обоснование научно-технического проекта, отвечающего условиям реализуемости, сводится к решению многокритериальной задачи планирования, в которой область допустимых решений определяет ряд критериев, ранжированных согласно приоритетам ЛПР: по экономической целесообразности; по обеспеченности проекта научно-техническим заделом; по научно-техническому уровню; по ограничениям на производственные мощности и другим.

⁵¹ Критерии ОРП (по крайней мере, часть из них) по своей сути являются трудно или вообще не формализуемыми. Задача оценки одновременно и многофакторная, и многокритериальная. Поэтому на практике для её решения может быть использован, например, метод целенаправленного достижения оптимума по лексикографическому правилу и определённой ЛПР иерархии системы критериев.

⁵² Анализ методов согласования локальных экономических решений, а именно таковой является задача ОРП, показывает, что не все из них могут быть применены на практике.

⁵³ Так, например, подход к планированию и обоснованию проекта, основанный на экстраполяции сложившихся тенденций, в том числе в структуре продуктов, не всегда допустим, так как «консервация» сложившейся структуры, динамики и объемов работ не соответствует принципам программно-целевого планирования, исходящего от поставленных целей, а потом уже от достигнутого уровня и существующей реализующей среды⁹.

⁵⁴ Нет примеров целесообразного применения в системах проектного планирования, одной из функций которого является оценка реализуемости, оптимизационных методов, сводимых к задачам математического программирования. Это объясняется условностью выбора критерия оптимальности проекта.

⁵⁵ Существуют и другие методы многофакторной оценки. Например, методы математической статистики, в частности, метод множественной корреляции. Эти методы рассматривают планирование и реализацию проекта как детерминированный процесс. На самом деле это не так: имеется ряд условий, о которых заранее ничего не известно. Поэтому можно говорить о наличии в задачах планирования и оценки реализуемости научно-технических программ и проектов статистической и стратегической неопределенности.

⁵⁶ Преимуществом использования агент-ориентированного моделирования являются его возможности по комплексному решению проблемы и задач формирования и обоснования научно-технических проектов: методология позволяет планировать выполнение проекта одновременно с оценкой его реализуемости, поскольку при этом учитывается широкий спектр факторов и ограничений, в том числе слабо или совсем не формализуемых.

⁵⁷ **Об оценке системной эффективности проекта как подсистеме планирования.**

⁵⁸ Общая концептуальная схема системной оценки эффективности проекта позволяет её формализовать в достаточной для автоматизации конкретике. В таком виде процедура оценки может быть встроена отдельным блоком в мультиагентную модель, её агент-ориентированную вычислительную платформу [25].

⁵⁹ Оценка эффективности проекта, согласно методологии [15, 19], многостадийная, соответствует стадиям разработки и реализации проекта. Предваряют оценку эффективности проекта обоснование его необходимости, обоснование объёма финансирования, определение схемы финансирования, технико-экономическое обоснование, и т.д.

⁶⁰ Автоматизация процедуры оценки имеет смысл, поскольку на каждой следующей стадии исходная информация о проекте и внешней среде всё более актуализируется, соответственно уточняется и конкретизируется состав альтернативных вариантов проекта. При этом оценка эффективности проекта и выбор его лучшего варианта каждый раз должны производиться заново, с применением всё более точной, детальной информации, точных методов. Более того, подобные «перерасчеты» проекта должны производиться всякий раз, как

только накопленная к тому времени информация поставит под сомнение ранее принятые проектные решения или даст достаточные основания для их пересмотра.

⁶¹ Как правило, оценка осуществляется в два этапа в зависимости от информационной плотности организационно-экономического механизма (ОЭМ)¹⁰ реализации проекта, данных об источниках и схеме его финансирования, составе участников. На первом этапе дается общая оценка системной эффективности проекта, его целесообразности. Если она положительная, то оценивается финансовая реализуемость проекта, его затратная (коммерческая) эффективность. На втором этапе общая оценка конкретизируется в оценки эффективности участия в проекте каждого его исполнителя.

⁶² Методология имитационно-ситуационного мультиагентного моделирования позволяет наилучшим образом учитывать недетерминированную постановку задач планирования, оценки реализуемости и эффективности научно-технических проектов, выполнять интерактивные многовариантные расчеты-эксперименты с исследуемым объектом, имитируя риски выполнения проекта.

⁶³ **Заключение. Проблемы восстановления и развития потенциала отрасли РКТ в фокусе её стратегирования и планирования.**

⁶⁴ Перманентные трансформации отрасли РКТ и их результаты свидетельствуют, что отрасль находится в системном кризисе. Он распространился на её систему стратегического целеполагания, на управление, организацию, структуру, научно-экспериментальную и технологическую базу [27]. Кризис предстоит преодолеть: известная максима «кто владеет космосом, тот владеет миром», сформулированная в 1960-е годы, по-прежнему верна.

⁶⁵ Кризис проявляется в низкой конкурентоспособности отрасли и её продукции, в сжатии её доли на мировом космическом рынке, в состоянии и процессах воспроизводства научно-технического, технологического, производственного, кадрового, инфраструктурного потенциала. Кризисные проявления обусловлены несовершенством институтов развития в экономике [18, 29], низким качеством целеполагания и реализации государственной политики в сфере космической деятельности.

⁶⁶ Если обратиться к зарубежному опыту, где также происходят изменения в практике управления и ведения бизнеса в аэрокосмической сфере [28], то там основными направлениями современного этапа её развития стали новые бизнес-модели¹¹, изменения в партнёрских отношениях, цифровая трансформация. Цифровая трансформация признана ключевым фактором успеха – именно она сейчас предлагает для прогресса отрасли свои значительные потенциальные возможности. Полагается, что предприятия, которые осуществляют комплексную цифровую трансформацию своего бизнеса – от планирования НИОКР и производства, логистики до производства продуктов и их маркетинга, – могут получить значительный прирост эффективности не только от новых возможностей получения дохода, но и от скорости трансформации: преимущество лидерства будет иметь решающее значение для успеха.

⁶⁷ Лидерство на рынке РКТ и космических услуг обеспечивают временной фактор в конкуренции, коммерциализация и повышение эффективности использования космических технологий. Не случайно в США основной потребитель пусковых услуг в целях безопасности, озабоченный высокими затратами бюджетных средств, пытается решить проблему их оптимизации путем усиления конкуренции, обратив внимание на новых поставщиков – производителей ракет космического назначения в секторе за периметром традиционных получателей оборонных заказов [34]. Для лидерства в обозримой перспективе необходима определённость в бюджетных приоритетах инвестирования всей сферы НИОКР, концентрация инвестиций на тех работах, которые являются ключевыми для прогресса в исследовании и использовании космического пространства.

⁶⁸ К числу этих работ в первую очередь следует отнести те, от которых зависит реализуемость таких стратегических направлений, как длительные космические полеты, производства в космосе, передовые космические энергетические и двигательные возможности, летные эксперименты в целях создания промышленной базы для коммерческой деятельности в космосе и на небесных телах. Одной из областей, имеющих потенциальное научное и коммерческое значение, являются исследования, связанные с микрогравитацией, которые уже в ближайшее время могут привести к прорывам в биофармацевтике и материаловедении. Необходимо изыскивать возможности для расширения фронта работ с передовыми материалами, аддитивным производством, оптической связью и возможностями машинного обучения (в контексте наделяния машин, робототехники искусственным интеллектом), которые находят всё более широкое применение, в том числе и в космосе [33]. Следование по этим направлениям обеспечит не только гарантированный доступ к освоению космического пространства, но и поддержание конкурентной среды, к формированию феномена космической экономики, связанной с освоением ресурсов других планет и астероидов.

⁶⁹ Пока нет примеров применения экономико-математических методов в современной регулярной практике стратегирования и планирования отечественных наукоёмких отраслей. Тем не менее, научные исследования активно ведутся. Помимо агент-ориентированного моделирования, можно отметить исследования по методологии прогнозирования наукоёмких и высокотехнологичных отраслей, по управлению созданием отраслевого научно-технического задела, по структурной трансформации отрасли РКТ и космической деятельности в целом, повышению их конкурентоспособности. Роль стратегического целеполагания и долгосрочного планирования в решении задач лидерства при создании научно-технического задела (временной аспект) и в цифровизации отрасли, трудно переоценить.

Примечания:

1. Под космической деятельностью понимается любая деятельность, связанная с непосредственным проведением работ по исследованию и использованию космического пространства и небесных тел. Деятельность включает: создание (в том числе разработку, изготовление и испытания), использование (эксплуатацию) космической техники, космических материалов и космических технологий и оказание иных связанных с космической деятельностью

услуг, а также использование результатов космической деятельности и международное сотрудничество РФ в области исследования и использования космического пространства [1].

2. По данным исследования рынка аэрокосмической индустрии, выполненного на основании государственных и проприетарных источников по итогам 2017 г. [28], объём коммерческого мирового космического рынка составляет \$259 млрд., растет более чем на 5% в год, что обусловлено сегментами производства наземного оборудования (+18,3%) и космических аппаратов (+7,7%). В секторе спутниковой связи происходит смена парадигмы от крупных и дорогих многофункциональных спутников и их группировкам с коротким циклом негеосинхронной орбиты, ориентированным на потребительский рынок. 3. Как следствие, США и Китай уже опережают отечественную отрасль РКТ по ряду показателей пусковой активности. Текущий рейтинг (с начала года на 01.09.2018) стран по количеству пусков ракет космического назначения: 1. Китай – 23 пуска. 2. США – 23. 3. Россия – 10. 4. ЕС – 4. 5. Япония – 4. 6. Индия – 3. По числу произведенных спутников (без выделения кубсатов): 1. США – 36,4%. 2. Китай – 23,72%. 3. ЕС – 13,26%. 4. Россия – 5,12%. Следует отметить, что от надежности некоторых космических систем, таких, например, как навигационная, ряд других, в настоящее время существенно зависят возможности и эффективность многих секторов экономики (в т.ч. банковского, энергетического, др.).

4. Масштабные проекты являются примерами реализации парадигмы проектной экономики. Большие проекты имеют не только локальные цели, но и стратегические. В России «реинкарнация» идеи, как механизма государственного планирования, государственно-частного партнерства, наблюдается в настоящее время [21].

5. Далее по тексту вместо словосочетания «программа или проект» может использоваться один из этих терминов, что не нарушает смысловой общности их применения.

6. NASA – NationalAeronauticsandSpaceAdministration (Национальная воздухоплавательная и космическая администрация) – ведомство в структуре федерального правительства США, подчиняется непосредственно вице-президенту США. Создано в 1958 г. В русском переводе иногда используется название: Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства.

7. В США впервые появились научные работы с обсуждением применимости идей математического программирования и его экономических приложений [16] для планирования космической деятельности. Эти работы оказались полезны для отечественной науки и практики планирования.

8. Идея наложения финансовой сети на полный жизненный цикл темы НИОКР была впервые реализована в ЦНИИ машиностроения в конце 1960-х гг. при планировании и обосновании программ развития РКТ.

9. Организационно-экономический механизм (ОЭМ) реализации проекта – форма взаимодействия участников проекта. В общем случае ОЭМ включает: нормативные документы, на основе которых осуществляется взаимодействие участников; обязательства, принимаемые участниками, гарантии и санкции за их нарушение; условия финансирования инвестиций, меры господдержки проекта; особые условия оборота продуктами и ресурсами; систему управления реализацией проекта, обеспечивающую своевременную координацию и синхронизацию деятельности участников, защиту интересов каждого из них [15, с. 68]. ОЭМ подлежит корректировке, поскольку детерминирован различиями в вариантах реализации проекта. Следовательно, изменение (корректировка) механизма в общем случае меняет показатели эффективности проекта и должна рассматриваться как разработка нового варианта реализации прежнего проекта.

10. Организационно-экономический механизм (ОЭМ) реализации проекта – форма взаимодействия участников проекта. В общем случае ОЭМ включает: нормативные документы, на основе которых осуществляется взаимодействие участников; обязательства, принимаемые участниками, гарантии и санкции за их нарушение; условия финансирования инвестиций, меры господдержки проекта; особые условия оборота продуктами и ресурсами; систему управления реализацией проекта, обеспечивающую своевременную координацию и синхронизацию деятельности участников, защиту интересов каждого из них [15, с. 68]. ОЭМ подлежит корректировке, поскольку детерминирован различиями в вариантах реализации проекта. Следовательно, изменение (корректировка) механизма в общем случае меняет показатели эффективности проекта и должна рассматриваться как разработка нового варианта реализации прежнего проекта.

11. Например, NASA (в России попытки создать аналогичную структуру предпринимались, но пока не увенчались успехом) озабочено вопросом использования международной космической станции в качестве места для сборки космических аппаратов. В конечном счете, речь в исследовании идет о разработке новых парадигм и бизнес-моделей в интересах роста экономики США.

Библиография:

1. «О космической деятельности» (с изменениями на 7 марта 2018 года). Федеральный Закон РФ в ред., введенной в действие Федеральным законом от 7 марта 2018 года № 46-ФЗ.
2. Багриновский К.А., Бендилов М.А. Имитационное моделирование как направление совершенствования методологических основ исследования

инновационной экономики // Материалы 14-го всероссийского симпозиума «Стратегическое планирование и развитие предприятий». Москва, 9-10 апреля 2013. М.: ЦЭМИ РАН, 2013. С. 22-25.

3. Бендиков М.А. Основные проблемы разработки и внедрения автоматизированной информационной технологии программного планирования и управления в космическом машиностроении. Сб.: Техника, экономика. Сер. АСУ / ВИМИ. – М., 1994. № 1-2. С. 5-12.
4. Бендиков М.А., Жбанов Г.И. Моделирование жизненного цикла наукоемкой продукции // Сб.: Техника, экономика. Сер. АСУ / ВИМИ. – М., 1994. № 1-2. С.57-64.
5. Бендиков М.А. Программное планирование космической деятельности: экономико-математический подход. – М.: 1995, 157 с.
6. Бендиков М.А. Оценка реализуемости инновационного проекта // Менеджмент в России и за рубежом, № 2, 2001. С. 17-43.
7. Бендиков М.А. Стратегическое планирование развития наукоемких технологий и производств (на примере космического машиностроения). М.: «Academia», 2000. 304 с.
8. Бендиков М.А., Колбин В.В., Лагоша Б.А., Танцман Э. Особенности моделирования текущего планирования мелкосерийного и индивидуального производства. Сборник «Системный анализ в ОАСУ», М.: ЦЭМИ АН СССР, 1975. С. 105-120.
9. Бендиков М.А., Пайсон Д.Б. О некоторых актуальных вопросах развития институциональных основ прогнозирования и принятия решений в инновационной сфере (на примере космической деятельности) // Проблемы прогнозирования, 2010, № 5. С. 27-37.
10. Бендиков М.А., Пайсон Д.Б. Институциональная система инноваций и основы методологии ее проектирования (на примере космической деятельности) // Экономический анализ: теория и практика. 2012. № 4. С. 13-21.
11. Бендиков М.А., Фролов И.Э. Высокотехнологичный сектор промышленности России: состояние, тенденции, механизмы инновационного развития. – М.: «Наука», 2006. – 586 с.
12. Бендиков М.А., Фролов И.Э., Ганичев Н.А., Кошовец О.Б. Анализ финансовых возможностей государства для развития наукоемкого, высокотехнологичного комплекса экономики на период до 2020 года // Прогнозирование перспектив технологической модернизации экономики России. Колл. монография / Под ред. Комкова Н.И. М.: МАКС Пресс, 2010.
13. Ваницкий А.К., Жбанов Г.И., Бендиков М.А. Автоматизированный моделирующий комплекс для решения задач перспективного планирования и

управления созданием отраслевой техники. Управление, планирование, экономика: НТСб. М.: ЦНТИ «Поиск», 1987, сер. УП, вып. 4. С. 3-24.

14. Ваницкий А.К., Жбанов Г.И., Бендилов М.А. Практическая реализация автоматизированных средств экономико-математического моделирования для решения задач перспективного планирования развития новой техники. Труды XIII научных чтений по космонавтике. Москва, 24-27 января 1989 г. / Социально-экономическая эффективность ракетно-космической техники и коммерциализации космической деятельности. – М.: ИИЕТ АН СССР, 1989. С. 17-27.

15. Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Смоляк С.А. Оценка эффективности инвестиционных проектов: Теория и практика: Учебное пособие. – 5-е изд. – М.: Поли Принт Сервис, 2015. – 1300 с.

16. Канторович Л.В. Математические методы организации и планирования производства. Изд-е Ленинградского государственного университета. Ленинград. 1939. 69 с.

17. Клочков В.В. Рискуй, иначе отстанешь! // Стимул - Журнал об инновациях в России. [Электронный ресурс] URL: <https://stimul.online/articles/interview/riskuy-inache-otstanesh/> (Дата обращения 20.08.2018).

18. Клочков В.В., Селезнева И.Е. Проблемы инновационного развития и государственного управления в современной России // Экспорт вооружений, 2018, №4.

19. Коссов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров Г.В. (руководители авторского коллектива). Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов: (Вторая редакция) / М-во экон. РФ, М-во фин. РФ, ГК РФ по стр-ву, архит. и жил. политике. М.: ОАО «НПО «Изд-во «Экономика», 2000, – 421 с.

20. Лившиц В.Н. Системный анализ рыночного реформирования нестационарной экономики России: 1992-2013. – М.: ЛЕНАНД. 2013. – 640 с.

21. Макаров В.Л. России нужна проектная экономика. [Электронный ресурс] URL: http://www.anspa.ru/ncd-1-9-618/news_publications.html (Дата обращения 10.06.2018).

22. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р. Социальное моделирование - новый компьютерный прорыв (агент-ориентированные модели) // М.: Экономика, 2013. – 295 с.

23. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д. Агент-ориентированная модель для мониторинга и управления реализацией больших проектов // Экономика и управление. 2017. № 4 (138). С. 4-12.

24. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д. Ситуационное моделирование – эффективный инструмент для стратегического планирования и

управления // Управленческое консультирование. 2016. № 6 (90). С. 26-39.

25. Макаров В.Л., Сушко Е.Д., Бахтизин А.Р. Общее описание модели ракетно-космической отрасли – «Russianspace» // Электронный источник: сайт Лаборатории агентного моделирования ЦЭМИ РАН. [Электронный ресурс] URL: <http://abm.center/publications/index.php?id=284> (Дата обращения 15.07.2018).
26. Пайсон Д.Б. Матричное моделирование взаимодействия участников цепочек создания ценности в задачах управления структурными преобразованиями ракетно-космической промышленности // Проблемы управления. 2016. № 6. С. 26-34.
27. Рогозин перечислил «десять принципов» нового Роскосмоса. [Электронный ресурс] URL: <https://gazeta-margust.ru/rogozin-perechislil-desyat-principov-novogo-roskosmosa>. (Дата обращения 28.06.2018).
28. Цифровой трансформационный ключ к выживанию в аэрокосмической и оборонной областях. – Консалтинговое агентство Alixpartners. [Электронный ресурс] URL: <https://www.alixpartners.com/media-center/press-releases/digital-transformation-key-survival-aerospace-defence/> (Дата обращения 16.07.2018).
29. Фролов И.Э. Развитие мировых высокотехнологичных производств и космические рынки: сможет ли космонавтика стать новым глобальным нововведением? // Экономическая наука современной России. 2017. № 4. С. 43-57.
30. Dole, S.H., Fisher, G., Harris, E. and String Jr, J. Establishment of a Long-Range Planning Capability, Technical Report RM-6151-NASA, The RAND Corporation, 1969.
31. Hillier F.S., Lieberman G.J. Introduction to Operations Research. Holden-Day, Inc., 1967.
32. Foust, J. Hearing identifies wide range of causes for NASA cost and schedule woes/ Space News, June 15, 2018 . [Электронный ресурс] URL: <http://spacenews.com/hearing-identifies-wide-range-of-causes-for-nasa-cost-and-schedule-woes/> (Дата обращения 30.07.2018)
33. MEMORANDUM FOR THE HEADS OF EXECUTIVE DEPARTMENTS AND AGENCIES. M-18-22. July 31, 2018. [Электронный ресурс] URL: <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2018/07/M-18-22.pdf> (Дата обращения 15.08.2018)
34. Air Force soon to announce decision on future launch vehicles. SPACENEWS [Электронный ресурс] URL: <https://spacenews.com/air-force-soon-to-announce-decision-on-future-launch-vehicles/> (Дата обращения 31.08.2018).

ECONOMIC-MATHEMATICAL METHODS IN PLANNING THE FIELD OF SPACE ENGINEERING (SCIENTIFIC AND PRACTICAL EXPERIENCE AND PROSPECTS)

Mikhail Bendikov

CEMI RAS

Russian Federation, Moscow, Nachimovsky prospect 47

Abstract

The purpose of the study: a systematic analysis of the specifics of the economy of the rocket and space engineering industry and taking into account features in the methodology of its strategy and long-term planning. The emphasis is made on the use of economic and mathematical methods for this purpose, including agent-based modeling of the process of formation of target complex programs for the development of the industry, the feasibility of programs, evaluation of their effectiveness. The article considers the experience of using economic and mathematical models, direct optimization methods and other analytical methods in the system of support of planning and management decisions in the program and target planning of the industry, as well as a number of promising areas of research in the field of space technology.

Keywords: space activities, planning, program-target approach, life cycle, economic and mathematical methods, agent-oriented modeling, information technology

Date of publication: 12.01.2019

Citation link:

Bendikov M. ECONOMIC-MATHEMATICAL METHODS IN PLANNING THE FIELD OF SPACE ENGINEERING (SCIENTIFIC AND PRACTICAL EXPERIENCE AND PROSPECTS) // Herald of CEMI. – 2018. – V. 1. – Issue 3.

URL: <https://cemi.jes.su/s111111110000099-1-1/>. DOI: 10.33276/S0000099-1-1