

ОСОБЕННОСТИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ ПЕРЕХОДА К НОВЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ ПРИ СОЗДАНИИ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ В РОССИИ

Александр Васильевич ЛЕОНОВ^{а,*},

Алексей Юрьевич ПРОНИН^б

^а доктор экономических наук, профессор, советник,
Российская академия ракетных и артиллерийских наук (РАРАН),
Москва, Российская Федерация
alex.clein51@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8948-1311>
SPIN-код: отсутствует

^б кандидат технических наук, доцент, советник,
Российская академия ракетных и артиллерийских наук (РАРАН),
Москва, Российская Федерация
pronin46@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8947-3047>
SPIN-код: 6833-7914

* Ответственный автор

История статьи:

Рег. № 115/2023
Получена 03.04.2023
Получена в
доработанном виде
11.04.2023
Одобрена 20.04.2023
Доступна онлайн
30.08.2023

Специальность: 5.2.1

УДК 355/359

JEL: O21, O32, O33

Аннотация

Предмет. Экономическая динамика перехода к новым технологиям при разработке государственных научно-технологических программ и проектов по созданию высокотехнологичной продукции.

Цели. Анализ и обобщение методов обоснования оптимального перехода к новым технологиям с учетом особенностей экономической динамики на этапах создания научно-технического задела для перспективных изделий высокотехнологичной продукции.

Методология. Применение современных методов оценки технологий и методов решения оптимизационных задач для обоснования оптимального перехода к новым технологиям.

Результаты. Разработана эндогенная модель экономической динамики, учитывающая этапы создания научно-технического задела для перспективных изделий высокотехнологичной продукции, с использованием которой проанализированы и в обобщенном виде представлены методы обоснования оптимального перехода к новым технологиям, основанные на технико-экономической оценке эффективности новой технологии. Обобщены классические методы технико-экономической оценки с использованием триады критериев: эффективность новой технологии; затраты ресурсов, в том числе времени, на ее разработку. Классифицированы методы сравнительной оценки существующей и новой технологий, учитывающие факторы неопределенности и времени поступления информации о ходе разработки новой технологии. Разработан метод сравнительной оценки вариантов совместного использования существующих и новых технологий: показано, что обоснование оптимального перехода к новым технологиям с использованием этого метода является многоэтапной, многовариантной и многокритериальной задачей. Разработан алгоритм выбора методов, учитывающий реальный объем исходных данных для определения оптимального перехода к новым технологиям. Предложено использовать

Ключевые слова:

экономическая
динамика, новые
технологии,
высокотехнологичная
продукция, методы
оптимизации

данный алгоритм для решения задач системного проектирования перспективных изделий высокотехнологичной продукции.

Выводы. Полученные результаты могут быть использованы при разработке государственных научно-технологических программ и проектов по созданию высокотехнологичной продукции различного назначения в интересах обеспечения обороны и национальной безопасности Российской Федерации в современной геополитической и экономической обстановке в мире, устойчивости инновационно-технологического развития страны.

© Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, 2023

Для цитирования: Леонов А.В., Пронин А.Ю. Особенности экономической динамики перехода к новым технологиям при создании высокотехнологичной продукции в России // *Экономический анализ: теория и практика*. – 2023. – Т. 22, № 8. – С. 1491 – 1519.
<https://doi.org/10.24891/ea.22.8.1491>

Введение

Одной из важнейших проблем в создании высокотехнологичной продукции¹ (ВТП) является определение оптимального момента перехода от существующих технологий к новым [1]. С учетом множества факторов, влияющих на процессы создания ВТП с использованием новых технологий, данная проблема стала весьма актуальной, требующей неотложного решения.

Следует отметить, что решение этой проблемы имеет исключительное значение для современного этапа инновационно-технологического развития страны, особенно в современных геополитических и экономических условиях в мире. Актуализация данной проблемы обусловлена объективным наличием следующего противоречия. С одной стороны, недостаточная осмотрительность и запаздывание в решении ключевого вопроса отбора новых (и особенно принципиально новых) технологий для внедрения в перспективные изделия ВТП (в том числе оборонного назначения) сдерживает темпы инновационно-технологического развития страны, а также чревато очень негативными последствиями для обороны и безопасности государства. Однако, с другой стороны, создание ВТП – это весьма сложный, затратный и длительный процесс, предполагающий использование новых физико-технических принципов и эффектов либо применение уникальных производственных процессов и технологий для создания высокотехнологичной продукции.

Создание ВТП, основанных на использовании новых технологий (например, технологий искусственного интеллекта, робототехники, лазерных, информационных и других новых технологий) имеет существенные отличительные особенности по сравнению с созданием промышленных изделий, построенных на уже известных

¹ Высокотехнологичная продукция представляет собой сложотехнические изделия, созданные на основе применения уникальных производственных процессов, либо продукцию, реализующую свои потребительские функции с использованием новейших физико-технических эффектов.

принципах и достаточно хорошо отработанных технологиях. Целесообразность разработки того или иного изделия ВТП должна тесно увязываться с возможностями по созданию научно-технического задела² (НТЗ) на основе выполнения взаимоувязанных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) по созданию перспективных технологий, в том числе промышленных и оборонных [2–5]. Только при наличии достаточно зрелого НТЗ могут быть установлены оптимальные параметры конструктивно-технологической схемы, обеспечивающей требуемые заказчиком технико-экономические характеристики перспективного изделия в разрабатываемой (модернизируемой) совокупности унифицированных изделий ВТП. Данная задача решается, как правило, в процессе технологического проектирования на этапах создания научно-технического задела для перспективных изделий высокотехнологичной продукции.

В связи с этим одной из важнейших задач в создании ВТП является определение оптимального момента перехода от существующих технологий к новым технологиям. Анализ развития промышленных и оборонных технологий [2–4], показал, что при разработке новых технологий необходимо учитывать множество факторов неопределенности (риска). При этом неопределенности в общем случае могут быть как внешними (например, связанные с экономическими и секторальными санкциями со стороны США и стран Евросоюза), так и внутренними (научно-техническими, финансово-экономическими и производственно-технологическими возможностями промышленных предприятий по созданию ВТП). К числу внутренних также следует отнести факторы риска, связанные с самим процессом и временем разработки новых технологий, а также уровнем развития методов их оценки.

Именно наличие данных факторов обуславливает необходимость оптимизации процесса перехода к новым технологиям. С учетом множества факторов, влияющих на процессы создания ВТП, задача установления оптимального перехода к новым технологиям стала весьма актуальной, требующей неотложного решения³.

Нами обобщены и классифицированы методы обоснования оптимального перехода к новым технологиям, предложен алгоритм выбора методов и направления их практического использования. При этом мы опирались на эндогенную модель экономической динамики высокотехнологичной продукции и особенности перехода к новым технологиям при создании научно-технического задела для проектирования высокотехнологичной продукции, а также современный арсенал методов оценки новых технологий.

² Научно-технический задел включает следующие основные составные части: научный, научно-технологический и производственно-технологический задел.

³ Следует отметить, что данная задача может быть сформулирована и с других позиций, а именно – как определение оптимальной остановки процесса совершенствования (или модернизации) существующих технологий и перехода к разработке новых технологий.

Эндогенная модель экономической динамики высокотехнологичной продукции

К настоящему времени сформировались два неразрывно связанных между собой аспекта экономической динамики: теоретический и прикладной. Экономическая динамика как самостоятельная ветвь теоретической математической экономики сформировалась к началу 1970-х гг., но ее понятийно-терминологический аппарат и присущие ей методы продолжают совершенствоваться и развиваться в России и за рубежом.

Среди отечественных ученых, в той или иной степени затрагивающих теоретический аспект экономической динамики, отметим В.С. Немчинова, Л.В. Канторовича, А.Г. Аганбегяна, Н.Д. Кондратьева, В.Д. Леонтьева, В.С. Автономова, В.В. Ивантера, В.Г. Иноземцева, Г.Б. Клейнера, Д.С. Львова, В.И. Маевского, С.Ю. Глазьева, В.И. Романовского, В.Л. Макарова, А.М. Рубина, Ю.В. Яковца и др. Однако, если поток публикаций по теоретическим аспектам экономической динамики в России и за рубежом непрерывно увеличивается, то публикаций, посвященных прикладным аспектам экономической динамики, совсем немного, в том числе применительно к переходу к новым технологиям при создании высокотехнологичной продукции.

Важнейшее значение прикладные аспекты экономической динамики имеют в научно-технологической сфере и прежде всего – при обосновании, формировании и реализации научно-технологических программ и проектов (НТПП), направленных на создание ВТП различного назначения. В Российской Федерации проводится много инновационных исследований и разработок в рамках НТПП, выполняемых по заказу различных федеральных органов исполнительной власти, государственных корпораций и организаций, научных фондов и Российской академии наук. Результаты фундаментальных и прикладных исследований (инновации), получаемые при выполнении НТПП, могут использоваться при создании ВТП различного назначения. Основными программными мероприятиями по созданию ВТП являются, как правило, НИОКР, в рамках которых проводится комплекс фундаментальных, поисковых и прикладных исследований, являющихся начальным этапом жизненного цикла изделий ВТП. Результаты этих исследований в совокупности образуют опережающий научно-технический задел, в рамках которого рассматривается некоторое множество взаимосвязанных технологий (как принципиально новых, так и традиционных), экономическая динамика которых изменяется во времени дискретно или непрерывно в процессе разработки НТПП.

Следует отметить, что некоторые прикладные аспекты экономической динамики уже рассмотрены в существующей научной литературе. Например, в работе В.М. Буренка, Г.А. Лавринова и А.Г. Подольского [1] представлены методологические аспекты (в том числе принципы, методы и методические подходы) оценки стоимостных показателей по этапам жизненного цикла высокотехнологичной продукции. В монографии С.С. Голубева и А.Г. Щербакова

[2] предложен системный подход к управлению экономической динамикой промышленных технологий в России, сформулированы цель, задачи и функции управления технологиями. В работе В.М. Буренка с соавторами [3] рассмотрены основы программно-целевого планирования и управления развитием военных технологий, впервые сформулирован понятийный аппарат в данной области научного знания. Наиболее полный спектр теоретических и прикладных аспектов экономической динамики высокотехнологичной продукции представлен в монографии [6], а некоторые особенности перехода к новым технологиям при создании научно-технического задела для проектирования высокотехнологичной продукции отмечены в работе [7]. Следует также упомянуть возможные методы оптимизации перехода к новой технологии⁴.

Опираясь на существующие подходы, мы более подробно раскрыли особенности экономической динамики и методы обоснования оптимального перехода к новым технологиям при формировании и реализации научно-технологических программ и проектов, направленных на создание ВТП различного назначения; представили метод сравнительной оценки вариантов совместного использования существующих и новых технологий (с графическим отображением области рациональных вариантов совместного применения традиционных и новых технологий) и конкретный пример его практического использования. В этом состоит научная новизна и оригинальность материалов данной статьи.

Отправной точкой для данного исследования явились результаты практической реализации приведенных подходов и анализ конкретных примеров экономической динамики, взятых из различных сфер отечественной экономики и оборонно-промышленного комплекса [8–17], а также за рубежом [18, 19]. Данные подходы и примеры убедительно свидетельствуют о том, что экономическая динамика отражает определенные тенденции, экономические циклы и законы развития. Причем экономическая динамика научно-технологической сферы развивается не сама по себе, а в контексте развития экономики, следовательно, она также имеет определенные экономические циклы и законы развития. Последние результаты исследования прикладных аспектов экономической динамики [6, 7] убедительно показали, что при обосновании момента перехода к новым технологиям при создании ВТП необходимо учитывать особенности формирования НТЗ для создания перспективных изделий ВТП и циклический характер развития технологий.

Нами представлена эндогенная модель экономической динамики на примере совместного планирования создания и использования существующих, разрабатываемых и перспективных изделий ВТП (*рис. 1*).

⁴ *Леонов А.В., Пронин А.Ю.* Методы оптимизации перехода к новой технологии при создании наукоемкой продукции // *Компетентность*. 2022. № 2. С. 3–11. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-optimizatsii-perehoda-k-novoy-tehnologii-pri-sozdanii-naukoemkoy-produktsii?ysclid=lgz1oyks19835564631>

На рис. 1 отображена следующая информация:

- необходимые временные интервалы для создания НТЗ, в том числе на проведение фундаментальных, прогнозных и поисковых исследований и прикладных исследований; на проведение опытно-конструкторских работ; на серийные поставки;
- доля изделий ВТП на основе существующих, разрабатываемых и перспективных технологий;
- момент остановки (время t) процесса совершенствования (модернизации) существующей технологии и перехода к разработке новой технологии.

При этом предполагается, что существующие изделия ВТП базируются на уже достаточно хорошо отработанных технологиях (традиционные технологии), нашедших практическое применение при создании промышленной продукции. Разрабатываемые изделия ВТП также основаны на традиционных технологиях. В основу создания перспективных изделий ВТП предполагается внедрить принципиально новые технологии.

Отметим роль научно-технического задела в обосновании возможности и целесообразности перехода к новым технологиям при создании перспективных изделий ВТП. Под научно-техническим заделом понимается совокупность полученных на определенный момент времени результатов фундаментальных, прогнозных, поисковых и прикладных исследований и разработок, представленных в следующих формах [3, 4]:

- научных знаний о явлениях, физико-химических эффектах, законах и закономерностях;
- технологий военного и двойного назначения;
- материалов и веществ, элементной базы и составных частей разрабатываемых изделий ВТП;
- алгоритмов и программ для ЭВМ;
- лабораторного, технологического, производственного и испытательного оборудования;
- экспериментальных и макетных изделий ВТП;
- аванпроектов, тактико-технических заданий на НИР и ОКР;
- концептуальных, нормативно-технических, методических и других документов.

Процесс создания НТЗ в интересах проведения опытно-конструкторских работ включает в себя этапы формирования научного, научно-технологического и производственно-технологического заделов. При этом «задельная» фаза поглощает примерно 10% от общих затрат бюджетных средств на создание перспективных изделий. Отечественный и зарубежный опыт свидетельствует, что создание ВТП с недостаточно зрелым НТЗ приводит к увеличению (по сравнению с первоначальной оценкой) сроков создания ВТП в среднем в 1,9 раза; повышению стоимости разработки – в среднем на 40%; повышению стоимости закупки финальных образцов – на 20% [2, 3].

Именно на этапах создания НТЗ решается задача обоснования оптимального перехода к новым технологиям, которая заключается в разрешении следующего противоречия: либо создавать новые технологии для их внедрения в перспективные изделия ВТП, либо дальше совершенствовать (модернизировать) существующие технологии.

Представленная на *рис. 1* эндогенная модель, положена в основу обоснования оптимального перехода к новым технологиям на основе использования современных методов оценки технологий.

Современные методы оценки технологий

В рамках данной статьи рассмотрены следующие методы:

- классический метод технико-экономической оценки⁵;
- методы сравнительной оценки эффективности существующих и новых технологий;
- метод сравнительной оценки вариантов совместного использования существующих и новых технологий.

Рассмотрим основное содержание данных методов.

Классический метод технико-экономической оценки. Классический метод основан на совместном использовании следующей триады критериев: эффективности W , затрат C , времени T [20].

В данном случае приняты следующие обозначения: W – эффективность новой технологии; C – затраты ресурсов на разработку новой технологии (вследствие того, что разработка новой технологии требует расхода разнородных ресурсов, наиболее часто этот показатель имеет стоимостную форму); T – время разработки новой технологии.

⁵ Викулов С.Ф., Жуков Г.П., Ткачев В.Н., Ушаков В.Я. Военно-экономический анализ. М.: Воениздат, 2001. 350 с.

Задача оценки новых технологий состоит в формировании различных вариантов достижения поставленной цели с использованием новых технологий, всестороннем их анализе и нахождении наиболее предпочтительного варианта. В зависимости от характера решаемой задачи оценки новых технологий один из перечисленных ранее критериев обычно выбирается главным, а два других выступают в качестве ограничений.

Применительно к задаче оценки целесообразности разработки новой технологии классическими являются следующие три формулировки (постановки):

$$W \rightarrow \max \text{ при } C \leq C_{\text{выд}}, T \leq T_{\text{зад}}; \quad (1)$$

$$C \rightarrow \min \text{ при } W \geq W_{\text{треб}}, T \leq T_{\text{зад}}; \quad (2)$$

$$T \rightarrow \min \text{ при } W \geq W_{\text{треб}}, C \leq C_{\text{выд}}. \quad (3)$$

Если требуется разработать новую технологию в заданное время $T_{\text{зад}}$ с максимально возможным уровнем эффективности W и при этом уложиться с расходом ресурсов C в объем, не превышающий заданный уровень $C_{\text{выд}}$, то формулировка задачи будет иметь вид согласно выражению (1).

Формулировка задачи (2) имеет место в случае, когда время на разработку новой технологии задается $T_{\text{зад}}$ и требуется достичь уровня эффективности не ниже требуемого $W_{\text{треб}}$ при минимальном расходе ресурсов C .

Формулировка задачи (3) направлена на минимизацию времени T разработки новой технологии, когда задан уровень ее эффективности W и известно ограничение по ресурсам $C_{\text{выд}}$.

В обобщенном виде возможные варианты постановки задачи технико-экономической оценки новых технологий приведены в *табл. 1*.

В качестве примера на *рис. 2* показан алгоритм технико-экономической оценки новых технологий (для первого и второго вариантов постановки задачи).

Основными исходными данными являются:

- вектор показателей, характеризующих содержание задач, для решения которых предназначено перспективное изделие с использованием новых технологий (перечень, объемы, сроки, требуемая эффективность выполнения и необходимые для этого ресурсы);
- состояние разработки перспективного изделия на начало программного периода;
- состояние и перспективы развития новых технологий за рубежом;

- методы и модели оценки эффективности решения задач перспективным изделием с использованием новых технологий;
- прогнозируемые объемы затрат на разработку новых технологий.

Основные этапы технико-экономической оценки новых технологий:

- подготовка исходных данных;
- выбор варианта постановки задачи (1 или 2);
- формулировка отдельных условий задачи в соответствии с выбранным вариантом постановки;
- решение задачи и анализ полученных результатов;
- вариация исходных данных в соответствии с вариантами расчетов;
- выбор рационального варианта новой технологии;
- обобщение полученных результатов.

Методы технико-экономической оценки в настоящее время широко используются при обосновании создания ВТП на основе новых технологий например [1–7].

Методы сравнительной оценки существующих и новых технологий. Данные методы основаны на учете факторов неопределенности при разработке новых технологий и прежде всего – параметров, определяющих их эффективность, и времени поступления информации о ходе разработки.

Для формулирования задачи обоснования оптимального перехода к новым технологиям с учетом данных факторов воспользуемся эндогенной моделью экономической динамики (*рис. 1*). Кроме того, примем следующие допущения:

- существующие изделия базируются на традиционных технологиях, то есть достаточно хорошо отработанных и нашедших практическое применение при создании промышленной продукции;
- разрабатываемые изделия ВТП будут базироваться на новых, в том числе принципиально новых технологиях.

С учетом упомянутых ранее факторов неопределенности и принятых допущений задача обоснования оптимального перехода к новым технологиям на вербальном уровне может быть сформулирована следующим образом [21].

Новая технология возникает как результат научно-технического прогресса, поэтому ее эффективность W^H априори точно неизвестна, а может быть оценена лишь

приближенно. Причем по сравнению с эффективностью традиционной технологии W^T отклонения ΔW могут быть как положительными, так и отрицательными, то есть:

$$\Delta W = W^H - W^T > 0 \quad (4)$$

или

$$\Delta W = W^H - W^T < 0.$$

Научно-исследовательские разработки новой технологии дают время от времени информацию, уточняющую первоначальную оценку. В этом случае оценка эффективности новой технологии может быть задана в форме вероятностного распределения возможных значений эффективности W^H новой технологии на некотором конечном интервале неопределенности, который с каждым актом уточнения сужается. При этом новый интервал остается внутри прежнего, а его длина в пределе, если процесс уточнения эффективности новой технологии о ходе ее разработки будет продолжаться длительное время, стремиться к нулю. В этом случае суть задачи оптимизации процесса перехода к новым технологиям будет состоять в уточнении информации об эффективности новой технологии.

Для решения сформулированной задачи может быть использован метод последовательного анализа А. Вальда. К настоящему времени этот метод получил более общую формулировку – теория статистических решений, в рамках которой используется современный арсенал методов оптимизации, в том числе изложенных в работе [21].

В классифицированном виде методы оптимизации перехода к новым технологиям представлены на *рис. 2*.

Анализ существующих методов оптимизации показал следующие результаты.

1. По учету фактора неопределенности, которая может быть как внешней, так и внутренней, существующие методы оптимизации можно подразделить на две принципиально различные группы: статистическую и динамическую.

Первая (статистическая) группа методов исходит из предположения, что неопределенность есть нечто данное (неизменное) и описывается интервалами, в которых находятся истинные значения параметров новой технологии (внутренняя неопределенность). Основная проблема при этом сводится к обработке не точечных, а интервальных данных. К методам этой группы относятся: интервальный анализ, теория нечетких множеств, а также оптимизационные методы, основанные на статистическом представлении неопределенности с критериями того или иного вида (например, минимаксный критерий, критерий Гурвица, Лапласа и др.).

Вторая, динамическая группа методов, основана на многошаговом процессе, учитывающем на каждом шаге поступающую с течением времени информацию о ходе разработки новой технологии. При этом динамические методы (в частности, метод динамического программирования), учитывая внешние факторы неопределенности, все же не позволяют учитывать неопределенность внутренних параметров, на что способны статистические методы. Таким образом, возникает разрыв, при котором динамические методы учитывают только внешнюю неопределенность, а статистические методы – только внутреннюю неопределенность. Некоторой попыткой преодоления данного противоречия с использованием динамических методов явилось применение многоэтапного подхода. Согласно этому подходу информация о параметрах второго этапа разрабатываемой технологии (заданная вероятностным распределением) учитывается при выборе оптимального решения на первом этапе, информация о параметрах третьего этапа учитывается при выборе оптимального решения на втором этапе и так далее. При формализации такого подхода к уточнению внутренних параметров исходят из того, что поступление уточняющей информации представляет собой экзогенно заданный случайный процесс сужения интервала неопределенности. Таким образом, отмеченный разрыв ликвидируется, а метод динамического программирования становится применимым для учета внутренней неопределенности при разработке новой технологии.

Примеры практической реализации данных методов на основе эволюционно-технологического подхода к созданию перспективных изделий ВТП, в том числе оборонного назначения, на этапах формирования НТЗ приведены в работах [2–7].

2. С учетом фактора времени поступления информации о ходе разработки новой технологии решение сформулированной ранее задачи может быть получено для трех случаев: для дискретного времени; непрерывного времени; отсутствия временного режима поступления информации.

В рамках метода последовательного анализа А. Вальда задача оптимального перехода к новым технологиям относится к задаче типа «оптимальной остановки марковской цепи» [21]. В общем, постановочном плане данная задача для всех случаев поступления информации о ходе разработки новой технологии формулируется следующим образом.

В первом случае поступление информации о состоянии разработки новой технологии происходит регулярно через определенный интервал (дискретный промежуток) времени, который принимается за временную единицу. В этом случае задается марковская цепь случайных переходов на фазовом пространстве. Под фазовым пространством понимается пространство, в котором каждая точка (фазовая точка) соответствует состоянию разработки новой технологии, которое определяется набором ее параметров $(x_1, x_2, \dots, x_n)$, так что $W^H = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$. При этом W^H может быть одним из важнейших физико-технических параметров, определяющих

эффективность новой технологии. В каждый целочисленный момент времени лицо, принимающее решение, может либо остановить процесс разработки новой технологии, либо его продолжить (множество управлений U). В этом случае с учетом затрат на НИОКР по разработке новой технологии возникает задача оптимальной остановки процесса совершенствования существующей технологии и принятия окончательного решения – переходить на новую технологию или отказаться от нее, сохранив существующую технологию. Требуется найти оптимальную булевскую стратегию (то есть принимающую только два значения «остановить» или «продолжить»), максимизирующую ожидаемый технико-экономический эффект. При этом множество управлений U – булевское, и оба его значения допустимы.

Во втором случае (в моделях с непрерывным временем) наиболее подходящим способом формализации процесса разработки новой технологии является описание его как пуассоновского потока определенной интенсивности. Если принять допущение, что информация поступает в случайные моменты времени с интенсивностью λ (например, если для определенности за единицу времени принять 1 год, то $\lambda = 1/\text{год}$), тогда информационные акты и, соответственно, переходы марковской цепи образуют пуассоновский поток постоянной интенсивности. Отличительными свойствами пуассоновского (и только пуассоновского) потока является то, что вероятностное распределение времени ожидания очередного информационного акта не зависит от того, сколько времени это ожидание уже длится и, следовательно, сохраняется в течение всего периода ожидания. Тогда решение задачи оптимизации процесса перехода к новой технологии возможно на основе использования принципа оптимальности Беллмана. При этом решение может быть сведено (при бесконечно малом интервале времени) к ранее рассмотренному случаю с дискретным временем поступления информации.

Третий случай распространяется на ситуацию, когда решение исходной задачи не связано с временным режимом поступления информации о ходе разработки новой технологии, а касается только самого марковского процесса случайных переходов на фазовом пространстве. Для описания данного процесса принимаются следующие допущения. Оценка параметра W^{π^1} (который в общем случае может быть многомерным, векторным) задается в виде плотности распределения вероятностей возможных его значений, которая представляет собой точку в фазовом пространстве, а фазовые переходы представляют собой процесс уточнения этого распределения. Научные исследования по разработке новой технологии целенаправленно организованы, и они дают с течением времени новую случайную информацию, результатом чего становится фазовый переход из одного состояния в другое. Так возникает случайный процесс в фазовом пространстве. Поскольку проводимые исследования по разработке новой технологии имеют целенаправленный характер и потенциально могут быть подкреплены достаточным финансированием, то можно ожидать, что этот случайный процесс будет

ориентирован в сторону улучшения параметра W^H . В то же время проводятся исследования, которые, по сути, являются пионерскими и будут направлены на разработку технологий, основанных на принципиально новых физико-технических принципах и эффектах. В этом случае может оказаться, что, несмотря на все усилия, проводимые исследования не только не улучшат значение параметра W^H , но конечный результат может оказаться вообще отрицательным. Кроме того, может быть так, что исследования по разработке новой технологии приведут не к улучшению, а лишь к уточнению параметра W^H . Такой взгляд соответствует представлению о характере новой технологии, полагающему, что оцениваемый параметр есть внутренняя характеристика, присущая изучаемому физическому явлению как таковому. При этом повышенное финансирование исследований может привести лишь к ускорению процесса исследования новой технологии, но не может придать этому процессу какую-либо временную направленность. Именно такая ситуация характерна для третьего случая – отсутствия временного режима поступления информации о процессе разработки новой технологии.

Таким образом, в вербальном постановочном плане рассмотрены возможные методы оптимизации процесса перехода от существующих технологий к новым технологиям в условиях неопределенности для различных случаев поступления информации о ходе разработке новой технологии. При этом установлено, что «уточнение параметров новой технологии» тоже есть процесс, но уже процесс познания внутреннего содержания новой технологии, изначально понимаемой как «вещи в себе». Данное положение является дополнительным, но необходимым условием применения рассмотренных методов оптимизации.

Метод сравнительной оценки вариантов совместного использования существующих и новых технологий. Данный метод применяется в том случае, когда рассматривается совместное планирование создания и использование традиционных (существующих) и разрабатываемых новых технологий в изделиях ВТП (рис. 1). В этом случае алгоритм обоснования оптимального перехода к новым технологиям включает следующие основные этапы [5–7].

Этап 1. Формирование исходных данных, в том числе множества функциональных задач I ($i = 1, \dots, I$), для решения которых могут быть использованы традиционные и новые технологии.

Этап 2. Оценка эффективности W_i^T и затрат C_i^T на решение i -й задачи $\forall i = \overline{1, I}$ с использованием традиционных технологий.

Этап 3. Оценка эффективности W_i^{TH} и затрат C_i^{TH} на решение i -й задачи $\forall i = \overline{1, I}$ при совместном использовании традиционных и новых технологий.

Этап 4. Формирование области (множества) Парето-оптимальных (недоминируемых) вариантов совместного применения традиционных и новых технологий. В данной области должно обеспечиваться:

- а) приращение эффективности ΔW_i ($\Delta W_i = W_i^{\text{TH}} - W_i^{\text{T}}$) решения i -й задачи при совместном применении традиционных и новых технологий по сравнению с эффективностью W_i^{T} решения этой задачи с использованием только традиционных технологий;
- б) снижение затрат ΔC_i ($\Delta C_i = C_i^{\text{T}} - C_i^{\text{TH}}$) на решение i -й задачи при совместном применении традиционных и новых технологий по сравнению с затратами C_i^{T} на ее решение только с использованием традиционных технологий.

Возникновение многовариантности на данном этапе обусловлено многими причинами, в том числе необходимостью анализа значительного числа возможных вариантов реализации отдельных функционально-технологических блоков (ФТБ) для достижения требуемого уровня основных характеристик разрабатываемого изделия ВТП с учетом возможности совместного использования новых и традиционных технологий. Для проведения подобного многовариантного анализа необходимо иметь следующую оперативную информацию:

- на каком уровне готовности находятся технологии;
- какие задачи должны решаться разрабатываемым изделием ВТП и способно ли существующее изделие решать аналогичные задачи;
- каковы должны быть характеристики разрабатываемого изделия ВТП для решения поставленных задач с минимальными затратами на реализацию его жизненного цикла и каким образом их можно достичь: модернизацией существующего изделия или разработкой изделий ВТП нового поколения.

Указанная информация позволяет рассмотреть различные варианты как разработки перспективного изделия, так и модернизации существующего. Необходимость многовариантных оценок в данном случае обусловлена рядом обстоятельств и прежде всего – практической потребностью проведения технико-экономических исследований при минимальном, как правило, объеме исходных данных. В этих условиях еще не обоснованы значения характеристик перспективного изделия, но достоверно известно, что будет осуществляться его разработка с улучшенными характеристиками, в том числе за счет совместного использования новых и традиционных технологий. В результате этого планируется реализовать в перспективном изделии либо всю возможную совокупность новых научно-технических решений (научно-технический задел), либо часть из них. Такое положение имеет место при разработке долгосрочных планов создания ВТП, а также в том случае, когда при разработке долгосрочных плановых документов не предъявляется жестких требований к значениям характеристик перспективного

изделия, а известны только диапазоны их возможных значений. Таким образом, основой создания перспективного изделия ВТП является технологическое проектирование, в ходе которого обосновывается рациональная совокупность ФТБ, обеспечивающих требуемые уровни характеристик перспективного изделия.

На этапах технологического проектирования на основе конструктивного анализа формируется множество альтернатив технических решений, которые дают основание для постановки задачи синтеза конструктивно-технологической схемы перспективного изделия. Данная задача заключается во внедрении, сбалансировании и синергетическом объединении (компоновке) различных по назначению ФТБ (в том числе: подсистем, узлов, элементов) в единую конструктивно-технологическую схему – единую конструкцию перспективного изделия. Суть этой задачи состоит в отыскании таких вариантов объединений (интеграции) элементов при условии их существования в заданных ограничениях (например, по массе, габаритным размерам, энергопотреблению и др.), при которых обеспечивается некоторый заданный уровень критерия. Процедура технологического проектирования содержит в качестве неизвестных параметров типы и число ФТБ, уровень их технологической проработки, синергетические связи между ними для достижения требуемых значений характеристик перспективного изделия. Учитывая сложившуюся практику технологического проектирования, необходимые ФТБ выбираются двумя способами: либо из множества существующих, то есть уже достаточно хорошо апробированных и используемых в конструктивно-технологических схемах других видов промышленной продукции; либо возникает необходимость полномасштабной разработки новых технологий. Как правило, множество апробированных технологий является достаточно представительным и мощным, в отличие от множества новых технологий, непосредственно определяющих в конечном итоге функциональные возможности и конструктивный облик перспективного изделия. Обычно эти технологии являются объектом формирующейся научно-технологической базы.

Таким образом, необходимость формирования области (множества) Парето-оптимальных (недоминируемых) вариантов совместного применения традиционных и новых технологий возникает уже на этапах технологического проектирования перспективного изделия.

Сужение области Парето-оптимальных (недоминируемых) вариантов совместного применения традиционных и новых технологий возможно с использованием системы дополнительных критериев, в том числе требуемой эффективности $W_{i\text{треб}}$ решения i -й задачи; заданных (выделенных) затратах $C_{i\text{зад}}$ на решение этой задачи; реализуемости вариантов и т.д.

Этап 5. Выбор рациональных вариантов совместного применения традиционных и новых технологий, обеспечивающих $\Delta W_i (\Delta C_i) \rightarrow \max$.

В качестве примера на *рис. 3* показано графическое отображение области рациональных вариантов совместного применения традиционных и новых технологий для гипотетической априори известной зависимости роста эффективности традиционных и новых технологий от затрат, выделяемых на их создание.

Таким образом, обоснование оптимального перехода к новым технологиям на основе сравнительной оценки вариантов совместного использования существующих и новых технологий является многоэтапной, многовариантной и многокритериальной задачей.

В качестве примера, иллюстрирующего представленный метод, приведем общую постановку задачи определения оптимального времени перехода от существующей технологии к новой технологии в течение программного периода. Для наиболее полного и корректного учета полных затрат, а также обеспечения сопоставимости оценок затрат для различных вариантов перехода к новой технологии в течение программного периода должны быть приняты следующие условия и допущения:

- оценка проводится для конкретного типа перспективных изделий, их фиксированного состава и условий выполнения ими некоторой задачи по своему функциональному назначению (функциональной задачи);
- оценка проводится из условия соблюдения тождества эффективности, то есть достижения одинаковой фиксированной (или требуемой) эффективности выполнения функциональной задачи за счет применения в составе перспективных изделий как существующей технологии, так и новой технологии;
- затраты на создание и применение перспективных изделий одинаковы для различных вариантов перехода от существующей технологии к новой;
- при определении полных затрат и предпочтительного варианта перехода рассматривается весь программный период времени $[t_0, T_k]$ (где t_0 – начало первого года, t_1 – начало второго года, T_k – последний год рассматриваемого программного периода; t_p – момент перехода к новой технологии, находящийся в интервале $t_0 \leq t_p \leq T_k$). При этом полные затраты подразделяются на две группы: затраты на применение перспективных изделий, основанных на существующих технологиях (период времени $t = [t_0, t_{p-1}]$); затраты на внедрение новой технологии в некоторые перспективные изделия и их совместное применение с остальными изделиями из первой группы (период времени $t = [t_p, T_k]$).

Учитывая, что значения полных затрат будут неодинаковы для разных моментов времени t_p в программном периоде, что связано с различной продолжительностью применения перспективных изделий на основе существующих технологий, то задача определения оптимального времени t_p^* формулируется следующим образом. Требуется определить такой оптимальный момент времени t_p^* , при котором значение

полных затрат $C(t)$ будет минимальным при условии обеспечения требуемого уровня эффективности $W_{\text{треб}}$ выполнения функциональной задачи и непревышения затрат на переход к новой технологии $C_i^{\text{ТНпер}}$ некоторого допустимого ограничения $C_{\text{зад}}$:

$$C_i(t_p^*) = \arg \min_{t_p \in T} \frac{1}{T} \left\{ C^T(t = [t_0, t_{p-1}]) + C_i^{\text{ТН}}(t = [t_p, T_k]) \right\} \rightarrow \min \quad (5)$$

при

$$W \geq W_{\text{треб}} \text{ и } C_i^{\text{ТНпер}} \leq C_{\text{зад}}.$$

В выражении (5) целевая функция представляет собой усредненные за весь программный период полные предстоящие затраты. Под i -м вариантом перехода к новой технологии ($i = 1, \dots, N$, где N – множество возможных вариантов) понимается вариант использования перспективных изделий, основанных как на существующей, так и новой технологии.

Оптимальное значение t_p^* для каждого варианта перехода определяется с использованием следующего подхода (правила). Сначала в качестве момента перехода к новой технологии рассматривается первый год программного периода, то есть $t_p = t_0$. В этом случае полные предстоящие затраты на выполнение функциональной задачи перспективными изделиями за весь программный период рассчитываются при условии применения новой технологии. Аналогичным образом рассчитываются затраты на выполнение функциональной задачи при условии, что переход к новой технологии проводится в каждый последующий год до момента времени T_k включительно. При этом учитывается, что возможности научно-исследовательской, испытательной и производственных баз позволяют к этому моменту времени создать необходимые изделия, а затраты на переход к новой технологии не превышают финансовые ограничения.

На основе данного подхода представляется возможным построить функцию затрат, отражающую изменение во времени усредненных за программный период полных предстоящих затрат на выполнение функциональной задачи с требуемым уровнем эффективности в зависимости от момента перехода к новой технологии. При этом каждому фиксированному значению t_p будет соответствовать одна точка функции затрат. Год программного периода, соответствующий минимальному значению функции затрат, и будет являться оптимальным моментом времени t_p^* для перехода к новой технологии. Следует отметить, что вполне возможен вариант, для которого функция затрат будет принимать минимальное значение лишь в следующем программном периоде. Тогда и следует планировать переход к новой технологии.

Учитывая содержание приведенного метода сравнительной оценки вариантов совместного использования существующих и новых технологий и конкретного

примера его использования, представляется возможным алгоритмизировать этот метод для множества функциональных задач, а также нескольких видов существующих и новых технологий, совместно используемых в составе перспективных изделий ВТП.

В дальнейшем для повышения оперативности обоснования оптимального перехода к новым технологиям на основе изложенных методов оценки их эффективности представляется целесообразным использовать инструментальные возможности искусственного интеллекта.

Алгоритм выбора метода обоснования оптимального перехода к новым технологиям при создании высокотехнологичной продукции

Необходимость разработки и использования данного алгоритма обусловлена наличием ряда факторов (исходных данных), в том числе:

- требований руководящих документов по созданию ВТП с необходимой эффективностью и оперативностью при минимальных затратах ресурсов;
- заданных темпов инновационно-технологического развития страны;
- возрастанием угроз безопасности Российской Федерации в военно-технологической сфере в современной геополитической и экономической обстановке в мире;
- требований к технико-экономическим показателям перспективных изделий высокотехнологичной продукции;
- предложений промышленности по созданию перспективных изделий ВТП.

Кроме того, немаловажное значение имеют факторы, связанные с особенностями работ по созданию перспективных изделий ВТП, в частности:

- неопределенность исходных данных (в том числе по бюджетным ассигнованиям) при формировании и реализации программ и планов создания ВТП;
- неопределенность относительно научно-технических, финансово-экономических и производственно-технологических возможностей промышленных предприятий по созданию ВТП, временных сроков разработки новых технологий;
- практическое отсутствие прототипов;
- уникальность разработки важнейших технологий;
- высокая наукоемкость и технологическая сложность перспективных изделий ВТП;

- отсутствие серийного производства для большинства перспективных изделий ВТП.

Отмеченные факторы и особенности ВТП определяют специфику задания научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию перспективных изделий высокотехнологичной продукции. Существующее методическое обеспечение не позволяет в полной мере и комплексно учитывать эти факторы при обосновании оптимального перехода от существующих технологий к разрабатываемым новым технологиям.

С учетом изложенного разработан алгоритм выбора метода обоснования оптимального перехода к новой технологии при создании ВТП. Блок-схема данного алгоритма представлена на *рис. 4*. В зависимости от имеющегося в наличии объема исходных данных по созданию перспективных изделий ВТП, основанных на новых технологиях, применяется тот или иной метод решения задачи.

Главной отличительной особенностью данного алгоритма является возможность комплексного использования методов для оптимизации процесса перехода от существующих технологий к разработке новых технологий. При этом методы технико-экономической оценки используются во всех случаях, в том числе при оценке как существующих, так и новых (принципиально новых) технологий; при сравнительной оценке существующих и новых технологий; при сравнительной оценке вариантов совместного использования существующих и новых технологий.

Заключение

На основе анализа эндогенной модели экономической динамики, учитывающей этапы создания научно-технического задела для перспективных изделий ВТП представлены результаты обобщения методов обоснования оптимального перехода к новой технологии, основанные на оценке эффективности новой технологии, в том числе:

- классические методы технико-экономической оценки, основанные на использовании триады критериев: эффективность новой технологии; затраты ресурсов на разработку новой технологии; время разработки новой технологии;
- методы оценки существующей и новой технологии с учетом факторов неопределенности и времени поступления информации о ходе разработки новой технологии;
- методы сравнительной оценки вариантов совместного использования существующих и новых технологий. Показано, что обоснование оптимального перехода к новым технологиям с использованием этих методов является многоэтапной, многовариантной и многокритериальной задачей.

Предложен алгоритм выбора методов и направления их практического использования.

Результаты анализа показали, что современный арсенал методов оптимизации позволяет обоснованно выбрать соответствующий метод и его формализовать для решения конкретной задачи, в том числе системного проектирования перспективных изделий ВТП на основе совместного использования существующих и новых технологий.

Таблица 1

Возможные варианты постановки задачи технико-экономической оценки новых технологий

Table 1

Possible options for setting the task of technical and economic assessment of new technologies

Постановка задачи	Эффективность новой технологии W	Затраты на разработку новой технологии C	Время разработки новой технологии T
1	$W \rightarrow \max$	$C \leq C_{\text{выд}}$	$T \leq T_{\text{зад}}$
2	$W \geq W_{\text{треб}}$	$C \rightarrow \min$	$T \leq T_{\text{зад}}$
3	$W \geq W_{\text{треб}}$	$C \leq C_{\text{выд}}$	$T \rightarrow \min$

Источник: авторская разработка

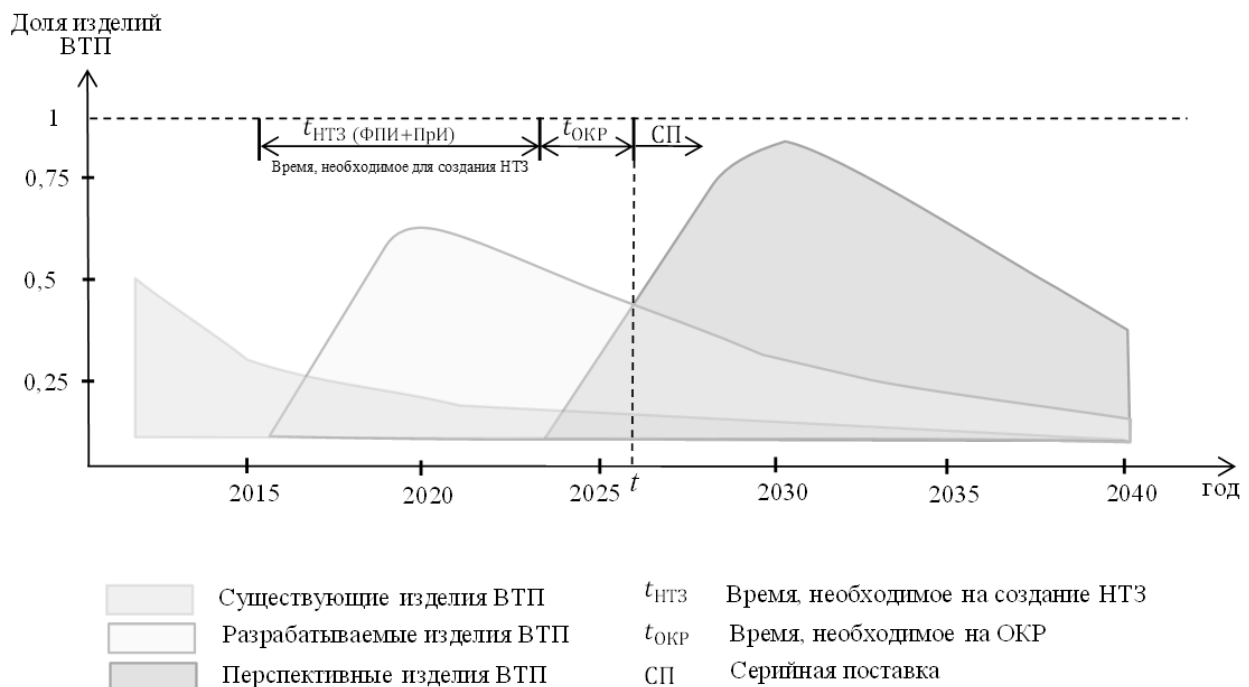
Source: Authoring

Рисунок 1

Эндогенная модель экономической динамики высокотехнологичной продукции

Figure 1

Endogenous model of economic dynamics of high-tech products



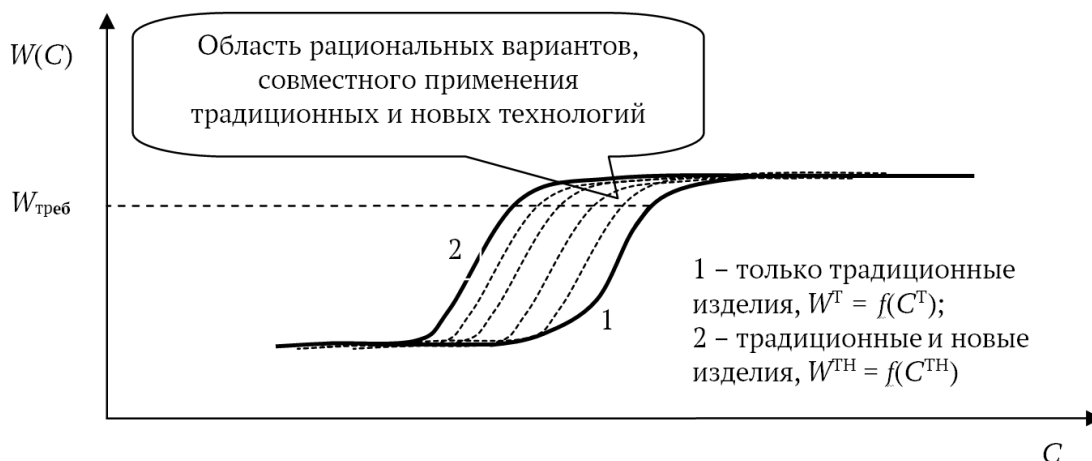
Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Рисунок 2**Классификация методов оптимизации перехода к новым технологиям****Figure 2****Classification of methods to optimize the transition to new technologies**

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Рисунок 3**Графическое отображение области рациональных вариантов совместного применения традиционных и новых технологий****Figure 3****Graphical representation of the area of rational options for joint application of traditional and new technologies**

Источник: авторская разработка

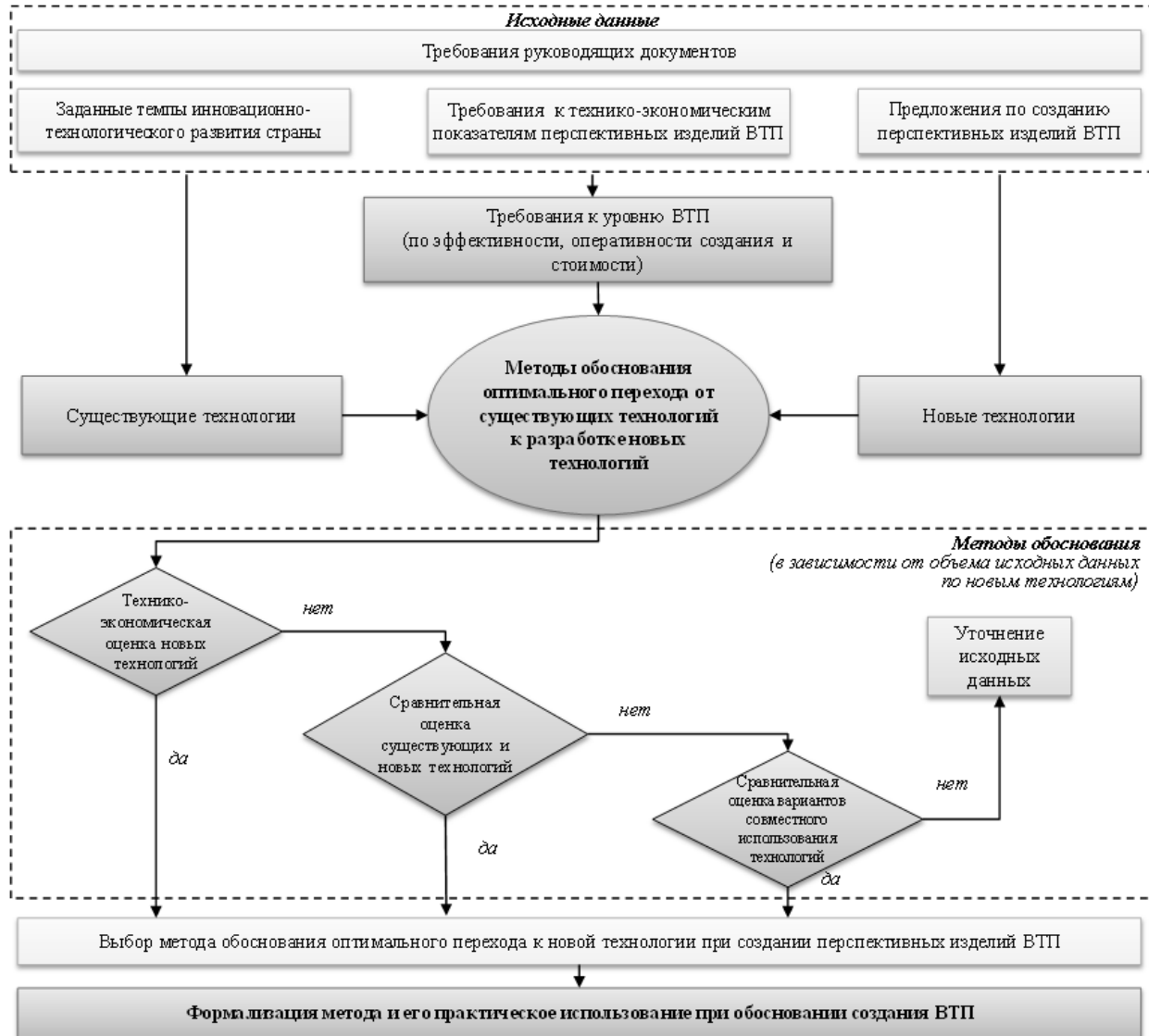
Source: Authoring

Рисунок 4

Алгоритм выбора метода обоснования оптимального перехода к новой технологии при создании высокотехнологичной продукции

Figure 4

Algorithm for choosing a method to substantiate the optimal transition to a new technology when creating high-tech products



Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Список литературы

1. Буренок В.М., Лавринов Г.А., Подольский А.Г. Оценка стоимостных показателей высокотехнологичной продукции: монография. М.: Граница, 2012. 424 с.
2. Голубев С.С., Щербаков А.Г. Методология управления промышленными технологиями: монография. М.: Первое экономическое издательство, 2020. 276 с.
3. Буренок В.М., Ивлев А.А., Корчак В.Ю. Развитие военных технологий XXI века: проблемы, планирование, реализация: монография. Тверь: Купол, 2009. 624 с.
4. Буренок В.М., Корчак В.Ю., Полубехин А.И. и др. Оборонный научно-технический задел: приоритетные направления развития и влияние на характер вооруженной борьбы: монография. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. 173 с.
5. Леонов А.В., Пронин А.Ю. Инновационно-технологические пути обеспечения национальной безопасности России: монография. М.: ИНФРА-М, 2018. 268 с.
6. Леонов А.В., Пронин А.Ю. Экономическая динамика создания высокотехнологичной продукции: теория, методология и практика: монография. М.: ИНФРА-М, 2021. 292 с.
7. Леонов А.В., Пронин А.Ю. Особенности перехода к новым технологиям при создании научно-технического задела для проектирования высокотехнологичной продукции // Двойные технологии. 2022. № 1. С. 28–34.
8. Корнев Г.Н., Шувалов А.Д. Анализ динамики экономических систем // Российский экономический интернет-журнал. 2008. № 2.
URL: https://www.e-rej.ru/Articles/2008/Kornev_Shuvalov.pdf
9. Ущев Ф.А., Чернов В.П. Модель экономической динамики, учитывающая неопределенность капитала // Финансы и бизнес. 2007. № 2. С. 47–59.
URL: https://finbiz.spb.ru/wp-content/uploads/2007/04/2_2007_ushev.pdf
10. Солопов В.Ю. Экономическая динамика: генезис, диалектика, онтология: монография. Астрахань: Астраханский государственный университет, 2004. 240 с.
11. Леванов А.Д. Экономическая динамика: теоретический и практический аспекты // Экономические исследования. 2013. № 1.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskaya-dinamika-teoreticheskiy-i-prakticheskiy-aspekty?ysclid=lg0tot2380592981061>
12. Максимов В.П., Чадов А.Л. Гибридные модели в задачах экономической динамики // Вестник Пермского университета. Серия: Экономика. 2011. № 2.

- С. 13–23. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gibridnye-modeli-v-zadachah-ekonomicheskoy-dinamiki?ysclid=lg0rtvwh2q814889232>
13. Мазуров В.Д. Модель экономической динамики в противоречивых условиях // Вестник Уральского института экономики, управления и права. 2012. № 3. С. 88–90.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/model-ekonomicheskoy-dinamiki-v-protivorechivyh-usloviyah?ysclid=lg0ts97wsp477251644>
14. Знаменский В.В. Структурирование экономической системы в целях управления экономической динамикой // Управление экономическими системами. 2012. № 12.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/strukturirovanie-ekonomicheskoy-sistemy-v-tselyah-upravleniya-ekonomicheskoy-dinamikoy?ysclid=lg0t7a5r2z356558990>
15. Знаменский В.В. Равновесие, устойчивость, кризисы в динамике экономических систем // Управление экономическими системами. 2012. № 8.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ravnovesie-ustoychivost-krizisy-v-dinamike-ekonomicheskikh-sistem?ysclid=lg0t8cgpys184366680>
16. Викулов С.Ф., Кушнир А.М., Пожаров А.И., Лавринов Г.А. Экономика военного строительства: новая парадигма: монография. Ярославль: Литера, 2008. 413 с.
17. Amendola B. Cost Effectiveness in New Technologies. *Reports of Practical Oncology & Radiotherapy*, 2013, vol. 18, supplement 1, pp. S9–S11.
URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rpor.2013.04.002>
18. Calderon M. The Pillars of Cost-Effectiveness: A Practical Guideline for New Technology Cost-Effective Decision-Making. *Value in Health*, 2015, vol. 18, iss. 3.
URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jval.2015.03.598>
19. Викулов С.Ф., Хрусталева Е.Ю. Методологические основы и специфика военно-экономического анализа // Экономический анализ: теория и практика. 2014. № 7. С. 2–11.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodologicheskie-osnovy-i-spetsifika-voenno-ekonomicheskogo-analiza?ysclid=lhp2gezkh514602937>
20. Бельский В.З. Оптимизационные модели экономической динамики: понятийный аппарат; одномерные модели: монография. М.: Наука, 2007. 259 с.
21. Вальд А. Последовательный анализ: монография. М.: Физматгиз, 1960. 328 с.

Информация о конфликте интересов

Мы, авторы данной статьи, со всей ответственностью заявляем о частичном и полном отсутствии фактического или потенциального конфликта интересов с какой бы то ни было третьей стороной, который может возникнуть вследствие публикации данной статьи. Настоящее заявление относится к проведению научной работы, сбору и обработке данных, написанию и подготовке статьи, принятию решения о публикации рукописи.

FEATURES OF ECONOMIC DYNAMICS OF THE TRANSITION TO NEW TECHNOLOGIES IN THE CREATION OF HIGH-TECH PRODUCTS IN RUSSIA

Aleksandr V. LEONOV^{a,*},

Aleksei Yu. PRONIN^b

^a Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences (RARAN),
Moscow, Russian Federation
alex.clein51@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8948-1311>

^b Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences (RARAN),
Moscow, Russian Federation
pronin46@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8947-3047>

* Corresponding author

Article history:

Article No. 115/2023
Received 3 April 2023
Received in revised form
11 April 2023
Accepted 20 April 2023
Available online
30 August 2023

JEL classification: O21,
O32, O33

Keywords: economic
dynamics, new
technology, high-tech
product, optimization
method

Abstract

Subject. The article addresses the economic dynamics of the transition to new technologies when elaborating State scientific and technological programs and projects for high-tech product creation.

Objectives. The focus is on the analysis and generalization of methods to underpin the optimal transition to new technologies given the specifics of economic dynamics at the stages of creating a scientific and technical reserve for promising high-tech products.

Methods. The study employs modern methods of technology assessment and methods of solving optimization problems to justify optimal transition to new technologies.

Results. The developed endogenous model of economic dynamics that considers stages of creating a scientific and technical reserve for promising high-tech products enabled to analyze and summarize methods for justifying the optimal transition to new technologies based on technical and economic assessment of the new technology effectiveness. The paper summarized classical methods of technical and economic assessment, classified methods of comparative evaluation of existing and new technology given the factors of uncertainty. We developed a method for comparative evaluation of options for joint use of existing and new technologies, devised an algorithm for selecting methods that takes into account the actual volume of initial data to determine the optimal transition to new technologies.

Conclusions. The findings can be used to develop State scientific and technological programs and projects for various purposes high-tech product creation for defense and national security of the Russian Federation in the modern geopolitical and economic situation in the world.

© Publishing house FINANCE and CREDIT, 2023

Please cite this article as: Leonov A.V., Pronin A.Yu. Features of Economic Dynamics of the Transition to New Technologies in the Creation of High-tech Products in Russia. *Economic Analysis: Theory and Practice*, 2023, vol. 22, iss. 8, pp. 1491–1519.
<https://doi.org/10.24891/ea.22.8.1491>

References

1. Burenok V.M., Lavrinov G.A., Podol'skii A.G. *Otsenka stoimostnykh pokazatelei vysokotekhnologichnoi produktsii: monografiya* [Evaluation of cost indicators of high-tech products: a monograph]. Moscow, Granitsa Publ., 2012, 424 p.
2. Golubev S.S., Shcherbakov A.G. *Metodologiya upravleniya promyshlennymi tekhnologiyami: monografiya* [A methodology for industrial technology management: a monograph]. Moscow, Pervoe ekonomicheskoe izdatel'stvo Publ., 2020, 276 p.
3. Burenok V.M., Ivlev A.A., Korchak V.Yu. *Razvitie voennykh tekhnologii XXI veka: problemy, planirovanie, realizatsiya: monografiya* [Development of military technologies of the 21st century: problems, planning, implementation: a monograph]. Tver: Kupol Publ., 2009, 624 p.
4. Burenok V.M., Korchak V.Yu., Polubekhin A.I. et al. *Oboronnyi nauchno-tekhnicheskii zadel: prioritetye napravleniya razvitiya i vliyanie na kharakter vooruzhennoi bor'by: monografiya* [Defense scientific and technical groundwork: Priority directions of development and influence on the nature of armed struggle: a monograph]. Moscow, Bauman Moscow State Technical University Publ., 2021, 173 p.
5. Leonov A.V., Pronin A.Yu. *Innovatsionno-tekhnologicheskie puti obespecheniya natsional'noi bezopasnosti Rossii: monografiya* [Innovative and technological ways to ensure the national security of Russia: a monograph]. Moscow, INFRA-M Publ., 2018, 268 p.
6. Leonov A.V., Pronin A.Yu. *Ekonomicheskaya dinamika sozdaniya vysokotekhnologichnoi produktsii: teoriya, metodologiya i praktika: monografiya* [Economic dynamics of creating high-tech products: Theory, methodology and practice: a monograph]. Moscow, INFRA-M Publ., 2021, 292 p.
7. Leonov A.V., Pronin A.Yu. [Features of the transition to new technologies when creating a scientific and technical background for the design of high-tech products]. *Dvoinye tekhnologii = Dual Technologies*, 2022, no. 1, pp. 28–34. (In Russ.)
8. Kornev G.N., Shuvalov A.D. [Analysis of the dynamics of economic systems]. *Rossiiskii ekonomicheskii internet-zhurnal*, 2008, no. 2. (In Russ.)
URL: https://www.e-rej.ru/Articles/2008/Kornev_Shuvalov.pdf
9. Ushchev F.A., Chernov V.P. [A model of economic dynamics that takes into account the uncertainty of capital]. *Finansy i biznes = Finance and Business*, 2007, no. 2, pp. 47–59. URL: https://finbiz.spb.ru/wp-content/uploads/2007/04/2_2007_ushev.pdf (In Russ.)

10. Solopov V.Yu. *Ekonomicheskaya dinamika: genezis, dialektika, ontologiya: monografiya* [Economic dynamics: Genesis, dialectics, ontology: a monograph]. Astrakhan, Astrakhan State University Publ., 2004, 240 p.
11. Levanov A.D. [Economic dynamics: Theoretical and practical aspects]. *Ekonomicheskie issledovaniya*, 2013, no. 1. (In Russ.)
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskaya-dinamika-teoreticheskiy-i-prakticheskiy-aspekty?ysclid=lg0tot2380592981061>
12. Maksimov V.P., Chadov A.L. [Hybrid models in problems of economic dynamics]. *Vestnik Permskogo universiteta. Seriya: Ekonomika = Perm University Herald. Economy*, 2011, no. 2, pp. 13–23.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gibridnye-modeli-v-zadachah-ekonomicheskoy-dinamiki?ysclid=lg0rtvwh2q814889232> (In Russ.)
13. Mazurov V.D. [Model of economic dynamics in the contradictory conditions]. *Vestnik Ural'skogo instituta ekonomiki, upravleniya i prava = Bulletin of Ural Institute of Economics, Management and Law*, 2012, no. 3, pp. 88–90.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/model-ekonomicheskoy-dinamiki-v-protivorechivyyh-usloviyah?ysclid=lg0ts97wsp477251644> (In Russ.)
14. Znamenskii V.V. [The structuring of the economic system in order to manage economic dynamics]. *Upravlenie ekonomicheskimi sistemami*, 2012, no. 12. (In Russ.)
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/strukturirovanie-ekonomicheskoy-sistemy-v-tselyah-upravleniya-ekonomicheskoy-dinamikoy?ysclid=lg0t7a5r2z356558990>
15. Znamenskii V.V. [Equilibrium, stability, crises in the dynamics of economic systems]. *Upravlenie ekonomicheskimi sistemami*, 2012, no. 8. (In Russ.)
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ravnovesie-ustoychivost-krizisy-v-dinamike-ekonomicheskikh-sistem?ysclid=lg0t8cgpyc184366680>
16. Vikulov S.F., Kushnir A.M., Pozharov A.I., Lavrinov G.A. *Ekonomika voennogo stroitel'stva: novaya paradigma: monografiya* [The economics of military construction: A new paradigm: a monograph]. Yaroslavl, Litera Publ., 2008, 413 p.
17. Amendola B. Cost effectiveness in new technologies. *Reports of Practical Oncology & Radiotherapy*, 2013, vol. 18, supplement 1, pp. S9–S11.
URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rpor.2013.04.002>
18. Calderon M. The Pillars of Cost-Effectiveness: A Practical Guideline for New Technology Cost-Effective Decision-Making. *Value in Health*, 2015, vol. 18, iss. 3.
URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jval.2015.03.598>
19. Vikulov S.F., Khrustalev E.Yu. [Methodological principles and specifics of military-economic analysis]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika = Economic Analysis:*

Theory and Practice, 2014, no. 7, pp. 2–11.

URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodologicheskie-osnovy-i-spetsifika-voenno-ekonomicheskogo-analiza?ysclid=lhs2gezkh514602937> (In Russ.)

20. Belen'kii V.Z. *Optimizatsionnye modeli ekonomicheskoi dinamiki: ponyatiinyi apparat; odnomernye modeli: monografiya* [Optimization models of economic dynamics: Conceptual framework, one-dimensional models: a monograph]. Moscow, Nauka Publ., 2007, 259 p.
21. Val'd A. *Posledovatel'nyi analiz: monografiya* [Sequential analysis: a monograph]. Moscow, Fizmatgiz Publ., 1960, 328 p.

Conflict-of-interest notification

We, the authors of this article, bindingly and explicitly declare of the partial and total lack of actual or potential conflict of interest with any other third party whatsoever, which may arise as a result of the publication of this article. This statement relates to the study, data collection and interpretation, writing and preparation of the article, and the decision to submit the manuscript for publication.