

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ**Александр Васильевич ЛЕОНОВ<sup>a</sup>, Алексей Юрьевич ПРОНИН<sup>b,\*</sup>

<sup>a</sup> доктор экономических наук, профессор, ведущий научный сотрудник,  
ФГБУ «46-й Центральный научно-исследовательский институт» Министерства обороны Российской Федерации,  
Москва, Российская Федерация  
alex.clein51@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-8948-1311>  
SPIN-код: отсутствует

<sup>b</sup> кандидат технических наук, начальник лаборатории,  
ФГБУ «46-й Центральный научно-исследовательский институт» Министерства обороны Российской Федерации,  
Москва, Российская Федерация  
pronin46@bk.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-8947-3047>  
SPIN-код: 6833-7914

\* Ответственный автор

**История статьи:**

Рег. № 2/2020  
Получена 09.01.2020  
Получена в доработанном  
виде 18.02.2020  
Одобрена 03.03.2020  
Доступна онлайн  
28.04.2020

УДК 355/359  
JEL: A12, G18, G28, H61,  
H62

**Ключевые слова:**

экономическая динамика,  
высокотехнологичная  
продукция, модель,  
устойчивость, нелинейная  
динамика

**Аннотация**

**Предмет.** Традиционное представление экономической динамики в виде траектории становится неадекватным для ее отображения на начальных этапах формирования государственных программ по созданию и развитию высокотехнологичной продукции, так как перестает однозначно соответствовать заданным начальным условиям. Возникает проблема адекватного представления экономической динамики, при этом необходимость учета внутренних нелинейных процессов становится важнейшим фактором и дополнительным механизмом управления экономической динамикой.

**Цели.** Обоснование перехода к новому вероятностному отображению экономической динамики на основе современных методов нелинейной динамики, позволяющему установить взаимосвязь между внутренними нелинейными процессами и макропоказателями экономической системы.

**Методология.** Системный анализ этапов формирования государственных программ и вероятностный подход для представления экономической динамики на основе использования основных понятий и методов нелинейной динамики.

**Результаты.** Проведен анализ циклов формирования государственных программ по созданию высокотехнологичной продукции и установлена идентичность основных этапов экономической и нелинейной динамики. Разработана методология исследования экономической динамики, основанная на использовании методов нелинейной динамики. Моделирование процесса формирования экономической динамики позволило установить причины чувствительности экономической динамики к начальным условиям и экспоненциальной расходимости ее траектории на начальных этапах формирования государственных программ. Установлены возможные формы представления экономической динамики, в том числе в виде траектории, ансамбля, сводимого к отдельной траектории и спектра распределения вероятностей, несводимого к отдельной траектории. Разработана методика выбора оптимальной модели экономической динамики при обосновании и формировании государственных программ.

**Выводы.** Полученные результаты могут быть использованы в интересах: совершенствования методического инструментария управления созданием высокотехнологичной продукции при разработке долгосрочных технологических программ, снижения риска при их реализации; определения способов и путей устойчивого инновационно-технологического развития страны. Полученные результаты целесообразно закрепить в основных положениях методологии устойчивого развития экономических систем.

**Для цитирования:** Леонов А.В., Пронин А.Ю. Исследование экономической динамики высокотехнологичной продукции // *Экономический анализ: теория и практика*. – 2020. – Т. 19, № 4. – С. 683 – 706.  
<https://doi.org/10.24891/ea.19.4.683>

## Введение

Экономическая динамика как самостоятельная ветвь математической экономики начала формироваться во второй половине XX в. в работах В.В. Леонтьева и Ф. Рамсея – авторов первой модели экономической динамики.

В России систематическое применение в экономике математических методов получило развитие в начале 1960-х гг. с образованием в 1963 г. в системе Академии наук СССР Центрального экономико-математического института. Развитие инструментария в области экономической динамики происходило под руководством академика Л.В. Канторовича. На базе этой школы было создано соответствующее подразделение в составе Сибирского отделения Академии наук СССР. Последующие работы И.В. Романовского, В.Л. Макарова, А.М. Рубина, В.З. Беленького завершили этап становления экономической динамики как таковой. Предметом экономической динамики является изучение закономерностей протекания во времени экономических процессов и их теоретическое описание в интересах разработки методов управления ими.

В современной экономической литературе под экономической динамикой понимается характер изменения экономических показателей во времени и пространстве под воздействием внешних (экзогенных) или внутренних (эндогенных) факторов.

Предметом экономической динамики является исследование, теоретическое описание и разработка методов управления сложными экономическими системами и процессами.

В экономических исследованиях наряду с термином «экономическая динамика» находит применение другой близкий термин – «временной ряд». Временной ряд (или ряд динамики) представляет собой собранный в разные моменты времени статистический

материал о значениях каких-либо параметров (или одного параметра) исследуемого процесса. Временной ряд – это особый тип статистических данных, с использованием которых осуществляется в основном анализ и прогнозирование экономических процессов.

В отличие от временных рядов экономическая динамика представляет собой управляемый процесс, направленный на формирование устойчивого сбалансированного развития современных сложных экономических систем с учетом воздействия множества внешних и внутренних факторов риска, которые по своей сути являются нелинейными, что и обуславливает нелинейный характер экономической динамики.

Результаты проведенного анализа показали, что к настоящему времени сформировались два основных аспекта рассмотрения экономической динамики. С одной стороны, она рассматривается как самостоятельная ветвь теоретической математической экономики [1], а с другой стороны, как часть формирующейся системы управления созданием и развитием высокотехнологичной продукции в рамках процессов обоснования, формирования и реализации государственных программ<sup>1</sup> [2–12].

В данном случае экономическая динамика рассматривается нами применительно именно к этим процессам, причем высокотехнологичная продукция рассматривается как сложная экономическая система, состоящая из

<sup>1</sup> Государственная программа – это документ стратегического планирования, содержащий комплекс планируемых мероприятий, взаимосвязанных по задачам, срокам осуществления, исполнителям и ресурсам, и инструментов государственной политики, обеспечивающих в рамках реализации ключевых государственных функций достижение приоритетов и целей государственной политики в сфере социально-экономического развития и обеспечения национальной безопасности Российской Федерации (Иванов А.В., Кузнецов О.В., Хурсевич С.Н. и др. Экономика и финансы оборонного комплекса России. М.: Вузовский учебник; ИНФРА-М, 2016. 360 с.).

некоторого множества взаимосвязанных элементов, состояние которых изменяется во времени дискретно или непрерывно.

На создание высокотехнологичной продукции из бюджета в настоящее время выделяются значительные объемы ассигнований. Эффективность использования этих средств зависит от качества программ и планов по созданию высокотехнологичной продукции, что не в последнюю очередь определяется совершенством методологического аппарата. Разработка, реализация и оценка эффективности государственных программ по созданию и развитию высокотехнологичной продукции в Российской Федерации осуществляется в соответствии с нормативными правовыми актами<sup>2</sup> на основе методологии программно-целевого планирования.

Классическое (традиционное) описание экономической динамики на основе этой методологии строится в основном на ее представлении в виде некоторой траектории, состоящей из совокупности практически независимых траекторий программных элементов, при этом каждая траектория (с учетом этапов жизненного цикла) задает положение этих элементов в пространстве программы как функцию времени. Отличительными признаками такого представления являются строгий детерминизм, обратимость во времени (временная симметрия), то есть возможность по начальным условиям определить последующее или предыдущее состояние экономической системы. Указанные признаки составляют содержание и сущность линейного подхода, который до настоящего времени является доминирующим в современных методах управления экономической динамикой высокотехнологичной продукции и прогнозирования последствий тех или иных управляющих воздействий.

<sup>2</sup> Об утверждении порядка разработки, реализации и оценки эффективности государственных программ Российской Федерации: постановление Правительства Российской Федерации от 02.08.2010 № 588; О стратегическом планировании в Российской Федерации: Федеральный закон от 28.06.2014 № 172-ФЗ; О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации: Указ Президента Российской Федерации от 01.12.2016 № 642.

В современных условиях разработка и реализация государственных программ, направленных на создание и развитие высокотехнологичной продукции, осуществляется в условиях существенных рисков. К внутренним видам риска следует отнести [2, 3]:

- финансово-экономический риск (связан с возможностью недофинансирования работ по созданию высокотехнологичной продукции или превышения фактических объемов ассигнований над запланированными);
- научно-технический риск (связан с возможностью невыполнения организациями технических заданий на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по созданию высокотехнологичной продукции, досрочного закрытия работ по различным научно-техническим причинам);
- производственно-технологический риск (связан со старением производственных фондов организаций и предприятий, утратой уникальных технологий, отсутствием комплектующих частей и изделий и др.

Внешние факторы риска связаны с экономическими санкциями со стороны Европейского союза и Соединенных Штатов Америки, вызвавшими в последнее время насущную необходимость разработки соответствующих мер по импортозамещению.

Учет этих видов риска становится особенно актуальным на начальных этапах формирования государственных программ по созданию высокотехнологичной продукции в целях принятия адекватных и своевременных мер по их нейтрализации для повышения степени реализуемости этих программ. В связи с этим с учетом множества различных видов риска возникает проблема адекватного представления экономической динамики. Дело в том, что понятие «траектория» на начальных этапах формирования государственных программ становится неадекватным для описания экономической динамики, так как перестает однозначно соответствовать заданным начальным условиям. Однако

линейный подход к исследованию экономической динамики, базирующийся на принципе экономического детерминизма и позволяющий на основе выявленной логики прошлого (или аналогичного) развития экономической системы определить ее будущее состояние, не дает решения проблемы адекватного представления экономической динамики, особенно на начальных этапах формирования государственных программ. В этом случае линейное представление экономической динамики в виде траектории становится «чрезмерной идеализацией». Именно поэтому возникает проблема адекватного представления экономической динамики. Кроме того, линейное представление не позволяет оценить, за счет каких же механизмов экономическая динамика может приобрести способность адаптироваться к внезапно изменяющимся внутренним и внешним факторам и условиям. При ограниченных бюджетных ассигнованиях и требованиях заказчика по повышению эффективности и качества высокотехнологичной продукции учет этих нелинейных процессов становится важнейшим фактором и дополнительным механизмом управления экономической динамикой, придания ей устойчивости.

Актуальным направлением совершенствования методологии программно-целевого планирования является использование понятийного аппарата и методов нелинейной динамики<sup>3</sup> [13] для адекватного отображения экономической динамики, особенно на начальных этапах формирования государственных программ. Учитывая, что методы нелинейной динамики применяются в основном к описанию физических систем<sup>4</sup> [13–16], целесообразно разработать методологию исследования экономической динамики высокотехнологичной продукции на основе использования современных достижений в области нелинейной динамики.

<sup>3</sup> Данилов Ю.А. Лекции по нелинейной динамике. Элементарное введение. М.: КомКнига, 2006. 208 с.

<sup>4</sup> Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б. Нелинейная динамика и хаос. Основные понятия. М.: КомКнига, 2006. 240 с.

В связи с изложенными положениями нами рассмотрены следующие основные вопросы: этапы формирования государственных программ по созданию высокотехнологичной продукции; методология исследования экономической динамики; методика выбора оптимальной модели экономической динамики.

### **Этапы формирования государственных программ**

Становление экономической динамики происходит на этапах формирования государственных программ по созданию высокотехнологичной продукции. Приведем некоторые примеры.

Формирование государственных технологических программ включает следующие мероприятия [8–12]:

- фундаментальные, прогнозные и поисковые исследования;
- научно-исследовательские работы, направленные на создание научно-технического (научно-технологического) задела;
- опытно-конструкторские работы по созданию (модернизации) изделий высокотехнологичной продукции, включая испытания;
- серийное производство и поставка потребителям новых изделий высокотехнологичной продукции;
- эксплуатация, включая ремонт и хранение;
- вывод из эксплуатации и утилизация устаревших и исчерпавших свой ресурс изделий высокотехнологичной продукции.

Безусловно, технологический цикл начинается с поиска тех инноваций, которые способны существенно повысить эффективность изделий высокотехнологичной продукции (или снизить затраты на ее создание), что обеспечивается в ходе проведения совокупности научно-исследовательских работ, а по их результатам – опытно-конструкторских работ по созданию

высокотехнологичной продукции. Согласно современной теории и практике программно-целевого планирования развития высокотехнологичной продукции [2] инновационно-технологический цикл может реализоваться в рамках жизненного цикла изделий высокотехнологичной продукции.

Для технического проектирования в Российской Федерации используются нормы и правила (ГОСТы), регламентирующие поэтапную разработку проекта по созданию любого технического изделия (системы). Основными этапами технического проектирования являются разработка и реализация следующих основных нормативных документов<sup>5</sup>:

- технического задания;
- технического предложения;
- эскизного проекта;
- технического проекта;
- рабочей конструкторской документации.

Таким образом, в рамках технического проектирования также имеются этапы формирования экономической динамики.

Формирование государственных программ по развитию высокотехнологичной продукции на основе методологии программно-целевого планирования и управления включает в себя следующие основные этапы [2, 8]:

- определение цели разработки государственных программ;
- разработка исходных данных; анализ и оценка существующего состояния высокотехнологичной продукции, определение требований к ней;
- формирование исходного перечня программных элементов;
- формирование вариантов развития высокотехнологичной продукции и их финансирования;

<sup>5</sup> ГОСТ Р 15.000-94 Система разработки и постановки продукции на производство (СПП). Основные положения. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200003501>

- выбор рационального варианта;
- формирование проекта государственной программы.

Рассмотрим более подробно этапы становления экономической динамики на примере формирования программы развития отраслей оборонно-промышленного комплекса (далее – программы) [2, 3, 5, 17–22].

Формирование программы возможно с использованием различных подходов, например, на основе выявленных статистических зависимостей процесса выполнения мероприятий (проектов, работ) программы.

Ключевым понятием является полный жизненный цикл программы (и ее отдельных элементов), под которым понимается комплекс мероприятий, выполняемых в строго установленной последовательности исполнителями программы. Данный цикл охватывает все этапы – от появления замысла до реализации программы.

Отбор мероприятий для включения в программу осуществляется на основе приоритетов (коэффициентов относительной важности) проектов и работ. Под приоритетом мероприятия понимается некоторое числовое значение, позволяющее лицу, принимающему решение, сопоставить набор мероприятий программы, отранжировать их и отдать предпочтение тому или иному из них в выделении необходимых ресурсов (при условии их дефицита). Отбор мероприятий для включения в программу осуществляется, как правило, экспертным методом. При этом все мероприятия программы условно распределяются на первоочередные мероприятия, имеющие абсолютный приоритет; мероприятия, которые обеспечиваются необходимыми ресурсами по остаточному принципу.

Основой для формирования допустимых вариантов жизненного цикла мероприятий является так называемый исходный жизненный цикл, варьируя параметрами или элементами которого, можно формировать

другие его варианты. В данном случае исходными данными являются:

- нормативный вариант жизненного цикла;
- цикл мероприятия-аналога;
- цикл, рассчитанный путем анализа и оценки отдельных работ рассматриваемого мероприятия.

Нормативный вариант жизненного цикла мероприятия программы формируется с учетом нормативов продолжительности, интенсивности и стоимости выполнения мероприятия программы (отдельной работы, проекта), которые можно определить на основе эмпирически установленных зависимостей, различных параметров (технических и технологических) планируемой к разработке продукции или на основе статистических данных других проектов.

При формировании жизненного цикла мероприятий программы полагается, что стоимость программы является величиной, не зависящей от продолжительности работ, изменение же сроков работ ведет только к изменению темпов их выполнения и интенсивности использования ресурсов. С помощью перечисленных ранее нормативов можно построить схему использования ресурсов по нормативному жизненному циклу программы для различных ее вариантов, получаемых путем изменения сроков выполнения работ и, соответственно, интенсивности использования ресурсов. Таким образом, вариации сроков выполнения отдельных мероприятий позволяют определять возможные варианты реализации программы.

Жизненный цикл программы характеризуется структурой и составом ее мероприятий, совокупностью заказчиков и исполнителей. Мероприятия программы характеризуются следующими основными показателями:

- видом мероприятия и сроками реализации;
- объемом финансирования мероприятия;

- потребными ресурсами (финансовыми, материальными, производственными, трудовыми);

- заказчиками и исполнителями программы, которые образуют совокупность участников программы.

Общая схема формирования исходного варианта программы включает в себя следующие этапы:

- проведение анализа;
- формирование исходных данных;
- задание сроков разработки и сметы затрат на программу в целом и отдельных ее частей;
- распределение затрат по годам реализации программы с использованием разработанных алгоритмов;
- формирование исходного варианта программы.

Структура вновь формируемой программы может быть определена как экспертным путем, так и методом математического моделирования. Данные методы позволяют сформировать первый вариант программы и на его основе создать альтернативные варианты в условиях значительной неопределенности (рисков), при недостаточном (или минимальном) объеме исходной информации на начальных этапах разработки программы (например, на этапе разработки укрупненных показателей, характеризующих цели и ресурсы программы).

С учетом того, что создание высокотехнологичной продукции сопряжено со значительной долей НИОКР, необходимых для ее разработки и производства, существенно возрастает роль программно-целевого планирования. В этом случае задача обоснования выбора рациональных вариантов программы в заданном критериальном пространстве формулируется в соответствии с одной из двух возможных стратегий достижения целей программно-целевого планирования:

- первая стратегия – выполнить заданные работы с минимальными затратами ресурсов;
- вторая стратегия – при заданных объемах ресурсов выполнить максимальное число работ с учетом их значимости в достижении целей программы.

Технология формирования и управления программой может быть представлена в виде следующих основных этапов.

1. Разработка системы количественных показателей эффективности программы.
2. Формирование структурных элементов (мероприятий проектов и работ) программы и экспертных оценок их приоритетности.
3. Формирование допустимых вариантов реализации полного жизненного цикла каждого элемента программы.
4. Определение для каждого варианта реализации программы:
  - объема полных затрат на ее реализацию;
  - нормативного значения или экспертной оценки достижения цели программы при ее реализации;
  - перечня необходимых мероприятий (проектов, работ).
5. Формирование нормативной базы.
6. Решение задачи формирования рациональных вариантов реализации программы.
7. Анализ полученных результатов.
8. Завершение формирования программы (при минимизации всех затрат на реализацию мероприятий, либо при достижении максимального уровня реализации программы при заданных объемах ассигнований).

В результате принимается вариант программы, который включает набор мероприятий, удовлетворяющих описанным (этап 6) ограничениям.

На основе анализа и обобщения этапов формирования государственных программ по созданию и развитию высокотехнологичной продукции построена модель становления экономической динамики (рис. 1).

В соответствии с установленными этапами формирования государственных программ по созданию и развитию высокотехнологичной продукции становление экономической динамики на каждом этапе осуществляется одновременно за счет интеграции двух разнонаправленных движущих сил:

- возможных вариантов построения государственных программ (множество возможных вариантов – контур  $\{S\}$ );
- требований, предъявляемых последующим этапом к предыдущему этапу (множество требований – контур  $\{V\}$ ).

Рассмотрим содержание основных этапов формирования государственных программ.

*Начальный этап:*

- определение цели и задач разработки программы;
- разработка исходных данных по задачам, ресурсам и возможностям реализации программы;
- анализ и оценка существующего состояния элементов программы;
- определение требований к элементам.

*Промежуточные этапы:*

- формирование исходного перечня элементов;
- определение вариантов финансирования программы;
- формирование множества возможных вариантов программы;
- сбалансирование элементов (по вариантам программы).

*Заключительный этап:*

- выбор рационального варианта программы;
- формирование проекта программы;

- согласование программы;
- практическая реализация программы.

Реализация рассмотренных этапов осуществляется итерационно по мере уточнения исходных данных и анализа различных вариантов программы.

Ключевыми технологическими этапами являются [12]:

- технологии формирования исходного перечня элементов;
- технологии формирования множества возможных вариантов программы (вариантные технологии);
- технологии сбалансирования элементов (по вариантам программы);
- технологии выбора рационального варианта программы, который и будет основой проекта государственной программы.

Технологии формирования исходного перечня элементов базируются, как правило, на системе приоритетов и целей государственной политики в сфере научно-технологического и социально-экономического развития и обеспечения государственной безопасности Российской Федерации, а также системе исходных данных. Кроме того, необходимы результаты анализа и оценки существующего состояния высокотехнологичной продукции.

Вариантные технологии является способом преодоления существенных неопределенностей, возникающих при формировании новой программы в целях принятия своевременных и необходимых мер по их нейтрализации. Кроме того, вариантные технологии являются механизмом адаптации к изменениям внутренних и внешних факторов. В результате многовариантность выступает и как метод обеспечения рационального использования ресурсов, выделяемых на создание и развитие высокотехнологичной продукции, и как метод преодоления существующих неопределенностей.

Технологии сбалансирования используются для достижения такого соотношения значений показателей элементов, при которых обеспечивается выполнение стоящих перед

программой задач при минимальных затратах. Кроме того, сбалансирование предполагает согласованное проведение всей совокупности работ по развитию и созданию высокотехнологичной продукции, включая распределение ответственности и согласованность функционирования всех участников разработки программы. Отступление от принципа сбалансирования может привести к диспропорциям в развитии как отдельных элементов, так и всей программы в целом. В условиях бюджетных ограничений использование вариантных технологий и сбалансирования представляет собой способ адаптации к новым факторам и условиям создания и развития высокотехнологичной продукции, а также неопределенностям долговременного характера.

Выбор рационального варианта программы осуществляется лицом, принимающим решение, на основе его компетентности (квалификации), критериев предпочтения вариантов и действующих нормативных правовых документов в данной предметной области.

Наличие отмеченных этапов и технологий позволяет идентифицировать процесс становления экономической динамики при формировании государственных программ по созданию и развитию высокотехнологичной продукции как нелинейный, к раскрытию физической сущности которого следует подходить именно с позиций понятийного аппарата и методов нелинейной динамики.

Представленный ранее инструментарий формирования государственной программы положен в основу методологии исследования экономической динамики высокотехнологичной продукции методами нелинейной динамики.

### **Методология исследования экономической динамики**

В основу методологии исследования экономической динамики положены теоретические положения нелинейной динамики (рис. 2). Ключевыми понятиями нелинейной динамики являются<sup>6</sup>:

<sup>6</sup> Данилов Ю.А. Лекции по нелинейной динамике. Элементарное введение. М.: КомКнига, 2006. 208 с.

- фазовое пространство, в котором каждая точка соответствует состоянию системы, а ее эволюции – фазовая траектория, некоторая кривая, по которой движется изображающая точка в фазовом пространстве (понятия «фазовая траектория» и обычная классическая траектория не идентичны);
- вероятность пребывания точки, отображающей состояние системы, в любой области объема фазового пространства.

Другими важнейшими понятиями нелинейной динамики являются флуктуации, корреляции, бифуркации, резонансы, ансамбль.

Рассмотрим основные положения предлагаемой методологии.

Проблема адекватного представления экономической динамики отражена на *рис. 3*.

Идентичность этапов нелинейной динамики и экономической динамики характеризуется следующими особенностями:

- начальный этап (1) – соответствует наличию только детерминированной траектории экономической динамики, сформированной в предыдущий программный период (упорядоченные траектории программных элементов);
- бифуркационный этап (2) – «расщепление» детерминированной траектории, вследствие «чувствительности к начальным условиям» и «экспоненциальной расходимости»;
- промежуточный этап (3) – сосуществование детерминированной траектории и потенциального множества новых траекторий (разупорядоченные траектории);
- этап упорядочения (4) – процесс установления новых корреляционных связей<sup>7</sup> между программными элементами и упорядочения их траекторий;
- заключительный этап (5) – формирование вновь сбалансированной экономической динамики.

<sup>7</sup> Корреляционные связи (корреляции) – статистически воспроизводимые соотношения между элементами или удаленными частями системы [16].

Источником инноваций и диверсификации типов поведения экономической системы на начальных этапах формирования экономической динамики является бифуркация<sup>8</sup>, поскольку именно благодаря ей в экономической системе появляются новые решения. Суть бифуркации состоит в нарушении симметрии внутри экономической системы, то есть внутренней диверсификации между различными частями экономической системы. В этом смысле бифуркация, приводящая к нарушению симметрии, является предпосылкой возникновения новых решений, например, вариантов развития экономической системы. С учетом того, что между предпосылкой и достаточным условием довольно большая разница, весьма важным становится выбор рационального варианта экономической динамики из всего множества возможных решений, появившихся в результате бифуркации.

Рассмотрим основные инновации, которые вносит использование методов нелинейной динамики в формирование новых представлений относительно экономической динамики на этапах формирования государственных программ.

*Чувствительность к начальным условиям* означает, что в начале формирования каждой новой государственной программы экономическая динамика, сформированная на предыдущем периоде планирования, ввиду неопределенности многих начальных условий, становится чувствительной к «малым вариациям» – флуктуациям<sup>9</sup>. Эти флуктуации обусловлены внедрением новых и удалением устаревших элементов, перемещением их по шкале жизненного цикла и др. При этом даже «элементарные флуктуации» могут сказаться на экономической динамике, поскольку «одни и те же» системы, если они чувствительны к начальным условиям, претерпевают

<sup>8</sup> Бифуркация – переломный, критический момент в развитии системы, определяющий выбор пути ее дальнейшего развития. В данном случае бифуркация – это переход от предыдущей программы к началу формирования новой программы.

<sup>9</sup> Флуктуации – случайные отклонения макроскопических переменных состояния системы от их средних или наиболее вероятных состояний; отклонения системы от устойчивого равновесного состояния.

не одну и ту же эволюцию [14–16]. В этом случае понятие «траектория» становится неадекватным для описания экономической динамики при формировании новой программы, так как перестает однозначно соответствовать заданным начальным условиям. Чтобы понятие «траектория» было адекватной формой представления экономической динамики, она должна оставаться «почти одной и той же» при небольшом изменении начальных условий. Именно этого недостает описанию экономической динамики в терминах траекторий. Следовательно, возникает необходимость учета «расщепления» предыдущей экономической динамики при формировании новой программы.

*Экспоненциальная расходимость* означает, что «расщепление» предыдущей программной траектории происходит в начале формирования каждой новой программы: расстояние между любыми двумя точками, первоначально сколь угодно малое, экспоненциально возрастает со временем. «Временной горизонт» достоверного предсказания поведения системы на перспективу выражается вероятностной функцией Ляпунова [14]:

$$P = \exp\{t / \tau\},$$

где  $t/\tau$  – положительная величина;  $1/\tau$  – показатель Ляпунова;  $\tau$  – время Ляпунова.

Время Ляпунова представляет собой интервал времени, по прошествии которого траектория системы из прогнозируемой классическими методами превращается в непредсказуемую. В принципе временной горизонт Ляпунова можно расширить, но для этого необходимо увеличивать точность задания исходных данных. Однако «цена», которую придется за это заплатить, также возрастет экспоненциально (например, десятикратное увеличение достоверно предсказуемого интервала прогноза системы потребует увеличения точности задания начального состояния системы в  $e^{10}$  раз [14]). После достаточно продолжительного периода времени (по сравнению со временем Ляпунова), «память» о начальном состоянии

системы полностью утрачивается, задание начального состояния не позволяет больше достоверно определять траекторию системы. Кроме того, мы не можем в принципе задавать начальные условия с бесконечной точностью. Таким образом, возникает принципиальное различие между системами, индивидуальное поведение которых можно достоверно предсказать, используя классические методы прогнозирования и системами, поведение которых (после времени Ляпунова) не допускает описания в терминах классического описания.

Указанные причины требуют совершенно иного методического аппарата для достоверного предсказания экономической динамики. Если бы были известны начальные условия с бесконечной точностью, то потребность в новом подходе отпала, но такое предположение для экономической системы не реалистично.

Следует отметить, что необходимость использования нового методического подхода не связана с неполнотой информации о факторах, влияющих на развитие системы и располагаемых на начало программного периода, а является прямым следствием необходимости учета вероятностного характера флуктуаций на уровне программных элементов на начальных этапах формирования государственных программ. В итоге чувствительность к начальным условиям и экспоненциальная расходимость приводят к «невъчисляемым» траекториям экономической динамики и становятся факторами, существенно снижающими полезность традиционного понятия траектории.

Основная причина расходимости траектории – во взаимодействиях между элементами, которые приводят к возникновению корреляций в динамических системах. По указанной причине А. Пуанкаре в 1889 г. в своей фундаментальной теореме разделил все системы на два вида [14–16]:

- интегрируемые системы, когда взаимодействия не учитываются;
- неинтегрируемые системы, в этом случае взаимодействия нельзя исключать. В общем

случае все динамические экономические системы являются неинтегрируемыми.

Главной причиной неинтегрируемости, из-за которой нельзя исключать взаимодействия, является возникновение резонансов, которые сильно связывают степени свободы элементов системы. При попытке исключить взаимодействия резонансы приводят к расходимостям.

Механизм влияния резонансов на траектории систем, согласно теории А.Н. Колмогорова (сформулирована в начале 1950-х гг.), приводит к траекториям двух совершенно различных типов: классическим траекториям и траекториям со стохастическим (случайным) поведением, возникновение которых отмечается показателем Ляпунова, соответствующим экспоненциальному расхождению со временем любых двух близких траекторий. Следовательно, на начальном этапе формирования экономической динамики (как показано на *рис. 3*) сосуществуют детерминированная траектория и стохастические траектории.

Таким образом, для неинтегрируемых систем необходимо отказываться от описания их развития в виде обычной траектории и переходить к вероятностному описанию. Системы, определяемые как неинтегрируемые в рамках обычных траекторий, перестают быть таковыми в рамках вероятностного подхода и тем самым преодолевается неинтегрируемость систем.

*Вероятностный подход.* В этом случае вместо одной траектории рассматривается ансамбль<sup>10</sup> траекторий.

Проведенный анализ известных определений ансамбля [15, 16] позволил выделить наиболее приемлемые для экономической системы определения. Ансамбль можно представить в виде большого числа вариантов одной и той же экономической системы, отличающихся координатами элементов (то есть положением в государственной программе и возможными

корреляционными связями), которыми они обладают в данный момент времени. Таким образом, вместо одной экономической системы мы рассматриваем некоторый ансамбль очень большого числа идентичных систем, находящихся в одних и тех же макроэкономических условиях, однако элементы этого ансамбля в общем случае будут находиться в различных состояниях.

Таким образом, основная идея введения ансамбля состоит в том, чтобы вместо одной экономической системы (на этапах формирования государственных программ) рассматривать некоторое множество систем. Выбор этого множества (ансамбля) зависит от условий рассмотрения экономической системы (например, открытая или изолированная, закрытая система) и от начальных условий. Если начальные условия заданы однозначно, то ансамбль расположен в какой-то области фазового пространства с четкой границей, а если начальные условия заданы нечетко, то ансамбль распределен по широкой области фазового пространства с размытой границей.

Вероятностный подход на основе ансамблей имеет две альтернативные формулировки. Первая основана на подходе Гиббса – Эйнштейна, а вторая – на спектральном подходе И. Пригожина. Более подробно содержание данных подходов изложено в работах<sup>11</sup> [14–16]. В обоих подходах основной характеристикой ансамбля является распределение вероятностей обнаружить систему в данной точке фазового пространства.

Таким образом, рассмотренные формы представления экономической динамики имеют свои достоинства и недостатки.

Представление экономической динамики в виде траектории имеет существенные достоинства: простоту; вычислимость; возможность прогнозирования традиционными методами и др.

<sup>10</sup> Ансамбль – это потенциально возможное число систем, соответствующих одним и тем же начальным условиям, но отличающихся взаимным положением элементов при их всевозможных комбинациях.

<sup>11</sup> *Малинецкий Г.Г., Потанов А.Б. Нелинейная динамика и хаос. Основные понятия.* М.: КомКнига, 2006. 240 с.

Представление экономической динамики в виде ансамбля имеет следующие преимущества:

- является удобным методологическим инструментом для отображения экономической динамики в тех случаях, когда начальные условия точно не заданы;
- позволяет вычислять средние значения;
- пригодно для описания любых состояний систем;
- применимо ко всем экономическим системам (упорядоченным и неупорядоченным);
- применимо на любом этапе обоснования и формирования программного документа, то есть пригодно для описания любых состояний экономической системы;
- появляется возможность охвата более широкой области возможного состояния экономической системы по сравнению с традиционным представлением ее в виде отдельной траектории, при этом ансамблевое представление остается в силе на любом этапе формирования экономической динамики и при любом горизонте прогнозирования тенденций развития системы.

Представление экономической динамики в виде спектра распределения вероятностей позволяет при значительных неопределенностях исходной информации (или даже полном ее отсутствии) относительно начальных условий формирования государственных программ, используя плотность распределения (путем усреднения по ансамблю) определить среднее значение любого макроэкономического показателя системы. Спектральный подход дает возможность изучать различные варианты задания начальных условий, в том числе при заранее заданных начальных условиях; при смешанных случаях, когда неполнота описания начальных условий связана не только с существенным разбросом начальных условий, но и с другими факторами. Спектральное представление экономической динамики на основе

распределения вероятностей образует своеобразный базис, объединяющий микро- и макроуровни описания экономической системы.

Наряду с явными достоинствами у спектрального представления экономической динамики есть и существенные недостатки, связанные с математическими трудностями формализации спектрального представления.

### **Методика выбора оптимальной модели экономической динамики при формировании государственных программ**

В обобщенном виде методика, предназначенная для решения данной задачи, представлена на рис. 4 и включает следующие этапы:

- выбор исходных данных (начальных условий) и определение требований к экономической динамике высокотехнологичной продукции;
- оценку достаточности исходных данных;
- выбор формы представления экономической динамики с учетом заданных требований;
- выбор модели экономической динамики (в виде траектории, в виде ансамбля, в виде спектра распределения вероятностей);
- формирование множества моделей экономической динамики;
- выбор оптимальной модели экономической динамики.

Общая математическая постановка задачи формирования типовой научно-технологической программы заключается в следующем.

*Известно:* некоторая совокупность программных мероприятий, каждое из которых характеризуется важностью, стоимостью и сроком реализации.

*Требуется:* сформировать научно-технологическую программу, включающую рациональный состав мероприятий, чтобы все мероприятия были выполнены в полном объеме, в установленные сроки и с учетом финансовых ограничений:

$$W(X^*) \rightarrow \arg \max_{x_i \in X_{\text{полн}}} \sum w(x_i)$$

при условии

$$\sum_l C(x_l) \leq C_{\text{зад}},$$

где  $X_{\text{полн}}$  – полная совокупность мероприятий программы;

$w(x_i)$  – оценочное значение важности  $x_i$ -го мероприятия программы;

$C(x_i)$  – затраты на проведение  $x_i$ -го мероприятия программы;

$C_{\text{зад}}$  – выделенные объемы финансирования на реализацию мероприятий программы.

Более подробно методические подходы к решению данной задачи рассмотрены в работах [2, 5, 9]. К основным областям практического использования предлагаемой модели целесообразно отнести:

- планирование затрат (распределение ассигнований) на создание высокотехнологичной продукции в рамках различных научно-технологических программ;
- управление, регулирование и прогнозирование экономической динамики создания высокотехнологичной продукции;
- формирование алгоритмов расчета прогнозируемых затрат на создание высокотехнологичной продукции.

### **Пример использования модели экономической динамики при формировании научно-технологических программ**

Рассмотрим порядок выбора оптимальной модели экономической динамики при формировании типовой научно-технологической программы.

Пусть имеется некоторая совокупность программных мероприятий, каждое из которых характеризуется важностью, стоимостью и сроком реализации, а также определенной взаимосвязью с другими мероприятиями программы и их элементами (табл. 1). Предположим, что выделенный объем финансирования на реализацию программы оказался меньше потребного и

составляет 500 у.е. Необходимо выбрать оптимальную модель экономической динамики при формировании научно-технологической программы, чтобы мероприятия были выполнены в полном объеме и в установленные сроки.

Алгоритм формирования программы предусматривает три основных этапа.

На первом этапе все мероприятия упорядочиваются по важности и устанавливаются корреляционно-когерентные связи между мероприятиями программы.

На втором этапе формируется множество моделей экономической динамики для реализации целевой функции программы.

На третьем этапе решается оптимизационная задача по формированию рационального состава мероприятий программы в условиях ограниченных объемов финансирования.

В результате выполнения предыдущих этапов данного алгоритма оказалось, что мероприятия 2 и 7 не вошли в состав программы ввиду того, что они имеют низкий коэффициент важности и незначительные корреляционно-когерентные связи с другими мероприятиями программы. В обобщенном виде результаты решения задачи приведены в табл. 2. Таким образом, выбор оптимальной модели экономической динамики при формировании научно-технологических программ способствует более эффективному использованию финансовых ресурсов, планируемых на создание и развитие высокотехнологичной продукции.

### **Заключение**

В ходе исследования экономической динамики высокотехнологичной продукции получены следующие результаты:

- проведен анализ этапов формирования государственных программ по созданию и развитию высокотехнологичной продукции и установлена идентичность экономической и нелинейной динамики;
- разработана методология исследования экономической динамики с использованием основных понятий и методов нелинейной динамики.

- Моделирование процесса формирования экономической динамики позволило установить:
- причины чувствительности к начальным условиям и экспоненциальной расходимости траектории экономической динамики;
  - необходимость перехода от традиционного представления экономической динамики в виде траектории к вероятностному описанию в виде ансамбля траекторий и спектра распределения вероятностей, что позволяет разрабатывать новые методы управления экономической динамикой и ее прогнозирования;
  - различные формы представления экономической динамики, в том числе в виде траектории; ансамбля, сводимого к отдельной траектории; спектра распределения вероятностей, несводимого к отдельной траектории;
  - разработана методика выбора оптимальной модели экономической динамики;
  - приведены области практического использования предлагаемой методики.
- Результаты исследования экономической динамики высокотехнологичной продукции целесообразно заложить в основные положения методологии устойчивого развития экономических систем, в том числе:
- понятийного аппарата, принципов и критериев устойчивости;
  - постановок научных задач повышения устойчивости;
  - моделей и технологий проектирования устойчивого развития;
  - методов управления устойчивым развитием, в том числе с учетом возможных рисков.

**Таблица 1**  
Исходные данные

**Table 1**  
Baseline data

Мероприятие	Потребные объемы ассигнований, у.е.	Важность	Срок реализации	
			Год начала	Год окончания
1	40	0,09	2021	2023
2	50	0,01	2024	2028
3	50	0,06	2023	2026
4	60	0,19	2020	2021
5	70	0,18	2020	2022
6	30	0,04	2025	2029
7	50	0,01	2021	2027
8	50	0,08	2027	2030
9	80	0,08	2024	2026
10	20	0,11	2023	2025
11	45	0,04	2026	2030
12	55	0,11	2022	2024
<b>Итого...</b>	<b>600</b>	<b>1</b>	-	-

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

**Таблица 2**

**Оптимальная экономическая динамика создания высокотехнологичной продукции при формировании разделов научно-технологической программы**

**Table 2**

**Optimal economic dynamics of high-tech product creation when drafting the sections of a scientific and technological program**

Мероприятие	Объем ассигнований, у.е.	Годы программного периода										
		2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
<i>Раздел 1 программы</i>												
4	60				-	-	-	-	-	-	-	-
1	40	-					-	-	-	-	-	-
10	20	-	-	-					-	-	-	-
3	50	-	-	-						-	-	-
11	45	-	-	-	-	-	-	-				
<i>Раздел 2 программы</i>												
5	70					-	-	-	-	-	-	-
12	55	-	-							-	-	-
9	80	-	-	-	-						-	-
6	30	-	-	-	-	-						-
8	50	-	-	-	-	-	-	-				

*Источник:* авторская разработка

*Source:* Authoring

**Рисунок 1**

**Модель становления экономической динамики по этапам формирования государственных программ создания и развития высокотехнологичной продукции**

**Figure 1**

**A model of economic dynamics by stages of State-run program formation for creation and development of high-tech products**



Источник: авторская разработка

Source: Authoring

**Рисунок 2**  
**Методология исследования экономической динамики**

**Figure 2**  
**Economic dynamics research methodology**



*Примечание.* ЭД – экономическая динамика; ГП – государственная программа; ПЦП – программно-целевое планирование.

*Источник:* авторская разработка

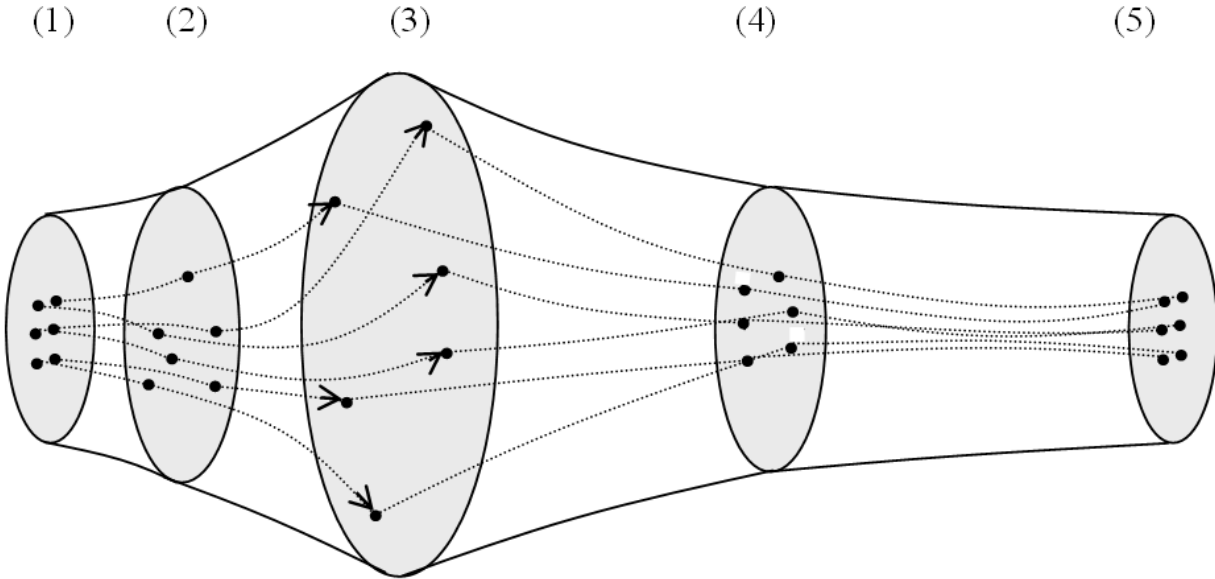
*Source:* Authoring

**Рисунок 3**

**Проблема адекватного представления модели экономической динамики высокотехнологичной продукции**

**Figure 3**

**Problem of adequate representation of a model of economic dynamics of high-tech products**



*Источник: авторская разработка*

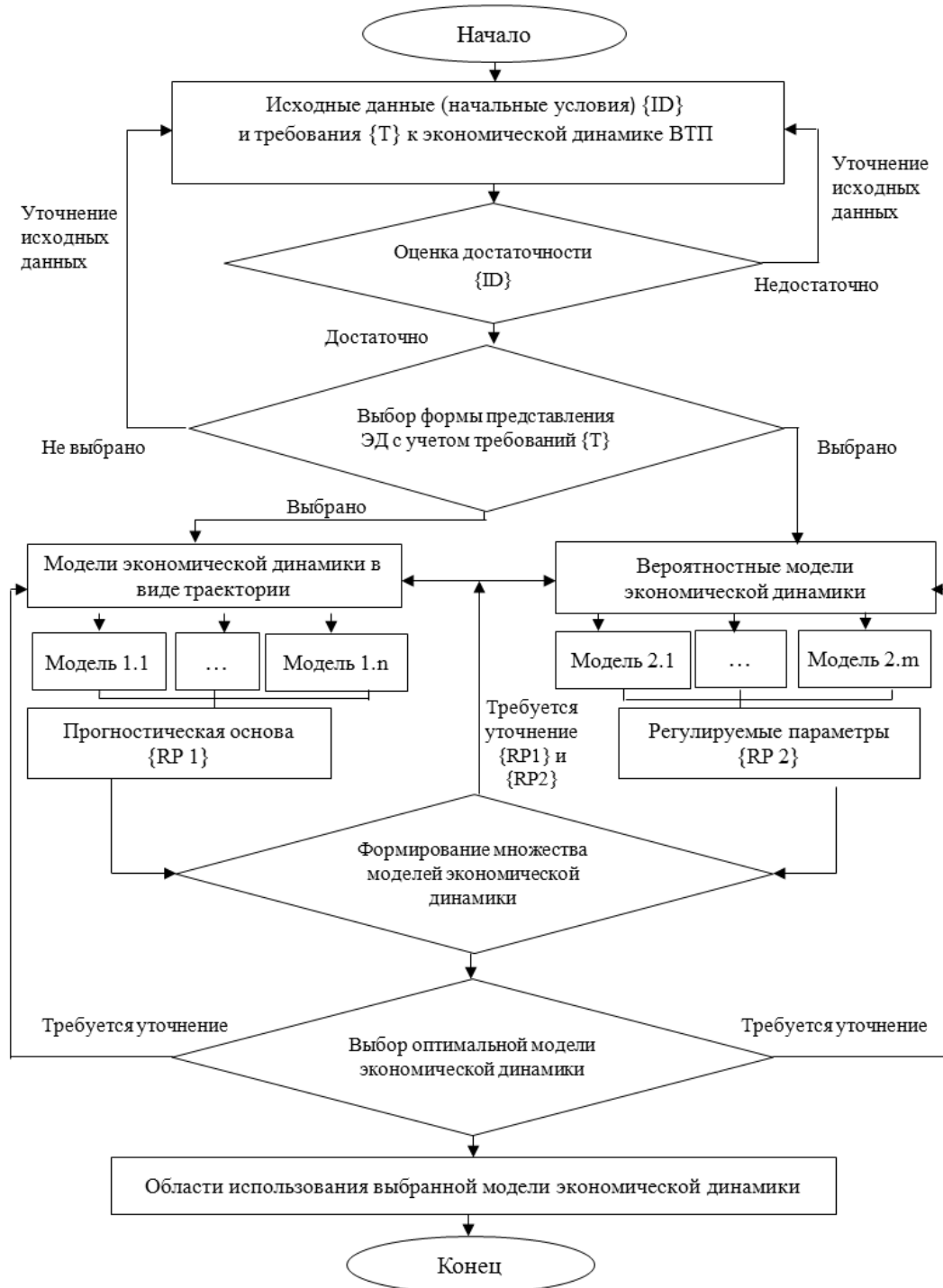
*Source: Authoring*

**Рисунок 4**

**Методика выбора оптимальной модели экономической динамики высокотехнологичной продукции**

**Figure 4**

**Methods for choosing the optimal model of economic dynamics of high-tech products**



*Примечание.* ЭД – экономическая динамика; ВТП – высокотехнологичная продукция.

*Источник:* авторская разработка

*Source:* Authoring

**Список литературы**

1. *Беленький В.З.* Оптимизационные модели экономической динамики: понятийный аппарат; одномерные модели: монография. М.: Наука, 2007. 259 с.
2. *Леонов А.В., Пронин А.Ю.* Инновационно-технологические пути обеспечения национальной безопасности России: монография. М.: ИНФРА-М, 2018. 268 с.
3. *Батьковский А.М., Леонов А.В., Пронин А.Ю. и др.* Совершенствование управления оборонно-промышленным комплексом: монография / под ред. А.М. Батьковского, А.В. Фоминой. М.: ОнтоПринт, 2016. 472 с.
4. *Batkovskiy A.M., Leonov A.V., Pronin A.Y. et al.* Models of Economic Evaluation of High-Tech Products. *Indian Journal of Science and Technology*, 2016, vol. 9, iss. 28, pp. 230–241. URL: <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i28/97660>
5. *Батьковский А.М., Леонов А.В., Пронин А.Ю. и др.* Актуальные проблемы развития управления оборонно-промышленным комплексом: монография / под ред. А.М. Батьковского, П.В. Кравчука. М.: Онто-Принт, 2017. 512 с.
6. *Batkovskiy A.M., Leonov A.V., Pronin A.Y. et al.* Regulation of the Dynamics of Creating High-Tech Products. *International Journal of the Engineering & Technology*, 2018, vol. 7, iss. 3.14, pp. 261–270. URL: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.14.16904>
7. *Батьковский А.М., Леонов А.В., Пронин А.Ю., Хрусталёв Е.Ю.* Модель управления процессом создания сложных технических систем на основе бюджетирования, ориентированного на результат // *Инновации в менеджменте*. 2018. Т. 15. № 1. С. 18–27.
8. *Леонов А.В., Пронин А.Ю.* Анализ проблемы сбалансирования на этапах создания высокотехнологичной продукции // *Экономический анализ: теория и практика*. 2018. Т. 17. № 2. С. 265–284. URL: <https://doi.org/10.24891/ea.17.2.265>
9. *Леонов А.В., Пронин А.Ю.* Методология управления созданием высокотехнологичной продукции на этапах формирования научно-технического задела // *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. 2018. Т. 14. Вып. 2. С. 200–220. URL: <https://doi.org/10.24891/ni.14.2.200>
10. *Леонов А.В., Пронин А.Ю.* Принципы самоорганизации в разработке и реализации государственных программ // *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. 2016. № 7. С. 36–53. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/printsiyu-samoorganizatsii-v-razrabotke-i-realizatsii-gosudarstvennyh-programm/viewer>
11. *Леонов А.В., Пронин А.Ю.* Оценка затрат на создание высокотехнологичной продукции // *Компетентность*. 2015. № 5. С. 20–27. URL: <http://old.asms.ru/upload/iblock/11f/11f474d3c818d249e4848139d0f88a62.pdf>
12. *Леонов А.В., Пронин А.Ю.* Роль самоорганизации в инновационном развитии сложных технических систем // *Компетентность*. 2017. № 3. С. 4–10. URL: <http://old.asms.ru/upload/iblock/b04/b04483002047dae5b8e87eae10984824.pdf>
13. *Колесников А.А.* Синергетические методы управления сложными системами: теория системного синтеза. М.: КомКнига, 2006. 240 с.
14. *Пригожин И.Р., Стингерс И.* Время. Хаос. Квант. К решению парадокса времени. М.: КомКнига, 2005. 232 с.

15. Пригожин И.Р. От существующего к возникающему: Время и сложность в физических науках. М.: КомКнига, 2006. 296 с.
16. Николис П., Пригожин И.Р. Познание сложного. М.: Едиториал УРСС, 2003. 344 с.
17. Батьковский А.М., Леонов А.В., Пронин А.Ю., Фомина А.В. Программно-целевое планирование отраслей оборонно-промышленного комплекса // Вопросы радиоэлектроники. 2016. № 11. С. 89–102. URL: <https://vre.instel.ru/jour/article/view/578>
18. Багриновский К.А., Хрусталёв Е.Ю. Методология и модельный инструментарий управления научно-техническими программами // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2014. № 32. С. 2–13. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodologiya-i-modelnyy-instrumentariy-upravleniya-nauchno-tehnicheskimi-programmami/viewer>
19. Роцин А.В., Тихонов И.П., Проничкин С.В. Методический подход к оценке эффективности результатов научно-технических программ // Экономический анализ: теория и практика. 2013. № 21. С. 10–18. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodicheskiy-podhod-k-otsenke-effektivnosti-rezultatov-nauchno-tehnicheskikh-programm/viewer>
20. Буханова С.М., Дорошенко Ю.А. К оценке экономической эффективности инноваций разных типов // Экономический анализ: теория и практика. 2005. № 4. С. 7–10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-otsenke-ekonomicheskoy-effektivnosti-innovatsiy-raznyh-tipov-1/viewer>
21. Ларин С.Н. Научно-технические программы: подходы к организации мониторинга и оценки эффективности // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2015. № 8. С. 24–32. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nauchno-tehnicheskie-programmy-podhody-k-organizatsii-monitoringa-i-otsenke-effektivnosti/viewer>
22. Зарецкая В.Г., Осиневич Л.М. Оценка прогноза экономического роста на основе производственной функции // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2015. № 19. С. 60–65. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-prognoza-ekonomicheskogo-rosta-na-osnove-proizvodstvennoy-funktsii/viewer>

### **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.

**RESEARCHING THE ECONOMIC DYNAMICS OF HIGH TECHNOLOGY PRODUCTS**Aleksandr V. LEONOV<sup>a</sup>, Aleksei Yu. PRONIN<sup>b,\*</sup><sup>a</sup> 46th Central Research Institute of RF Ministry of Defense, Moscow, Russian Federation  
alex.clein51@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-8948-1311><sup>b</sup> 46th Central Research Institute of RF Ministry of Defense, Moscow, Russian Federation  
pronin46@bk.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-8947-3047>

\* Corresponding author

**Article history:**Article No. 2/2020  
Received 9 January 2020  
Received in revised form  
18 February 2020  
Accepted 3 March 2020  
Available online  
28 April 2020**JEL classification:** A12,  
G18, G28, H61, H62**Keywords:** economic  
dynamics, high technology  
product, model, sustainability,  
nonlinear dynamics**Abstract****Subject.** The article addresses the issue of adequate representation of economic dynamics. It considers the need to take into account internal nonlinear processes being an important factor and additional mechanism for managing the economic dynamics.**Objectives.** The purpose is to rationalize a transition to a new probabilistic mapping of economic dynamics based on modern methods of nonlinear dynamics, which enables to establish the relationship between internal nonlinear processes and macroeconomic indicators of the economic system.**Methods.** We employ a systems analysis of stages of State-run programs formation, a probabilistic approach to representing the economic dynamics on the basis of fundamental concepts and methods of nonlinear dynamics.**Results.** We analyzed the cycles of government program formation for developing the high-tech products, established the identity of the main stages of economic and nonlinear dynamics. We also designed a methodology for studying the economic dynamics, which rests on the use of nonlinear dynamics methods. Modeling the processes of economic dynamics made it possible to determine the causes of its sensitivity to initial conditions and exponential divergence of its trajectory at initial stages of government programs formation. The paper presents methods to choose the optimal model of economic dynamics when substantiating and drafting the said programs.**Conclusions.** The findings can be used to improve methodological tools for managing the creation of high-tech products when elaborating long-term technological programs, to reduce risk inherent in their implementation, to determine methods and ways for sustainable innovative and technological development of the country.

© Publishing house FINANCE and CREDIT, 2020

**Please cite this article as:** Leonov A.V., Pronin A.Yu. Researching the Economic Dynamics of High Technology Products. *Economic Analysis: Theory and Practice*, 2020, vol. 19, iss. 4, pp. 683–706.  
<https://doi.org/10.24891/ea.19.4.683>**References**

1. 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.
2. Leonov A.V., Pronin A.Yu. *Innovatsionno-tekhnologicheskie puti obespecheniya natsional'noi bezopasnosti Rossii: monografiya* [Innovative and technological ways to ensure national security of Russia: a monograph]. Moscow, INFRA-M Publ., 2018, 268 p.

3. Bat'kovskii A.M., Leonov A.V., Pronin A.Yu. et al. *Sovershenstvovanie upravleniya oboronno-promyshlennym kompleksom: monografiya* [Improving the management of the military-industrial complex: a monograph]. Moscow, OntoPrint Publ., 2016, 472 p.
4. Batkovskiy A.M., Leonov A.V., Pronin A.Y. et al. Models of Economic Evaluation of High-Tech Products. *Indian Journal of Science and Technology*, 2016, vol. 9, iss. 28, pp. 230–241. URL: <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i28/97660>
5. Bat'kovskii A.M., Leonov A.V., Pronin A.Yu. et al. *Aktual'nye problemy razvitiya upravleniya oboronno-promyshlennym kompleksom: monografiya* [Urgent problems of developing the management of defense industry complex: a monograph]. Moscow, Onto-Print Publ., 2017, 512 p.
6. Batkovskiy A.M., Leonov A.V., Pronin A.Y. et al. Regulation of the Dynamics of Creating High-Tech Products. *International Journal of the Engineering & Technology*, 2018, vol. 7, iss. 3.14, pp. 261–270. URL: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.14.16904>
7. Bat'kovskii A.M., Leonov A.V., Pronin A.Yu., Khrustalev E.Yu. [Model management the process of creating complex technical systems on the basis of budgeting, results-oriented]. *Innovatsii v menedzhmente = Innovations in Management*, 2018, vol. 16, no. 2, pp. 18–27. (In Russ.)
8. Leonov A.V., Pronin A.Yu. [Analyzing the balancing problem at the stages of creating high-tech products]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika = Economic Analysis: Theory and Practice*, 2018, vol. 17, no. 2, pp. 265–284. (In Russ.) URL: <https://doi.org/10.24891/ea.17.2.265>
9. Leonov A.V., Pronin A.Yu. [The methodology for managing high-tech production during the formation of Science and Technology knowledge resources]. *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost' = National Interests: Priorities and Security*, 2018, vol. 14, iss. 2, pp. 200–220. (In Russ.) URL: <https://doi.org/10.24891/ni.14.2.200>
10. Leonov A.V., Pronin A.Yu. [Principles of self-organization in the development and implementation of government programs]. *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost' = National Interests: Priorities and Security*, 2016, no. 7, pp. 36–53. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/printsiipy-samoorganizatsii-v-razrabotke-i-realizatsii-gosudarstvennyh-programm/viewer> (In Russ.)
11. Leonov A.V., Pronin A.Yu. [Cost Estimate for the Creation of High-Tech Products]. *Kompetentnost'*, 2015, no. 5, pp. 20–27. URL: <http://old.asms.ru/upload/iblock/11f/11f474d3c818d249e4848139d0f88a62.pdf> (In Russ.)
12. Leonov A.V., Pronin A.Yu. [The Role of Self-Organization in the Innovative Development of Complex Technical Systems]. *Kompetentnost'*, 2017, no. 3, pp. 4–10. URL: <http://old.asms.ru/upload/iblock/b04/b04483002047dae5b8e87eae10984824.pdf> (In Russ.)
13. Kolesnikov A.A. *Sinergeticheskie metody upravleniya slozhnymi sistemami: teoriya sistemnogo sinteza* [Synergetic management methods for complex systems: Theory of system synthesis]. Moscow, KomKniga Publ., 2006, 240 p.
14. Prigogin I.R., Stengers I. *Vremya. Khaos. Kvant. K resheniyu paradoksa vremeni* [Time. Chaos. Quantum: Towards a solution to the paradox of time]. Moscow, KomKniga Publ., 2005, 232 p.
15. Prigogin I.R. *Ot sushchestvuyushchego k voznikayushchemu: Vremya i slozhnost' v fizicheskikh naukakh* [From Being to Becoming: Time and Complexity in the Physical Sciences]. Moscow, KomKniga Publ., 2006, 296 p.
16. Nikolis G., Prigogin I.R. *Poznanie slozhnogo* [Exploring Complexity: An Introduction]. Moscow, Editorial URSS Publ., 2003, 344 p.

17. Bat'kovskii A.M., Leonov A.V., Pronin A.Yu., Fomina A.V. [Program-target planning of development of industries of the military-industrial complex]. *Voprosy radioelektroniki = Issues of Radio Electronics*, 2016, no. 11, pp. 89–102. URL: <https://vre.instel.ru/jour/article/view/578> (In Russ.)
18. Bagrinovskii K.A., Khrustalev E.Yu. [Methodology and model instruments for management of scientific and technical programs]. *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost' = National Interests: Priorities and Security*, 2014, no. 32, pp. 2–13. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodologiya-i-modelnyy-instrumentariy-upravleniya-nauchno-tehnicheskimi-programmami/viewer> (In Russ.)
19. Roshchin A.V., Tikhonov I.P., Pronichkin S.V. [Methodical approach to assessing the effectiveness of results of scientific and technical programs]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika = Economic Analysis: Theory and Practice*, 2013, no. 21, pp. 10–18. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodicheskii-podhod-k-otsenke-effektivnosti-rezultatov-nauchno-tehnicheskikh-programm/viewer> (In Russ.)
20. Bukhanova S.M., Doroshenko Yu.A. [On the assessment of economic efficiency of various types of innovation]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika = Economic Analysis: Theory and Practice*, 2005, no. 4, pp. 7–10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-otsenke-ekonomicheskoy-effektivnosti-innovatsiy-raznyh-tipov-1/viewer> (In Russ.)
21. Larin S.N. [Scientific and technical programs: Approaches to monitoring and assessing the effectiveness]. *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost' = National Interests: Priorities and Security*, 2015, no. 8, pp. 24–32. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nauchno-tehnicheskii-programmy-podhody-k-organizatsii-monitoringa-i-otsenke-effektivnosti/viewer> (In Russ.)
22. Zaretskaya V.G., Osinevich L.M. [Evaluating the economic growth forecast using the production function]. *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost' = National Interests: Priorities and Security*, 2015, no. 19, pp. 60–65. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-prognoza-ekonomicheskogo-rosta-na-osnove-proizvodstvennoy-funktsii/viewer> (In Russ.)

### **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.