

DOI: 10.26794/2587-5671-2022-26-1-144-155

УДК 001.895(045)

JEL B00

Исследование методологических принципов и финансовых механизмов макростратегического управления динамикой технологических инновационных систем

Б.Д. Матризаев

Финансовый университет, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Системы производства и потребления нуждаются в радикальных инновациях, чтобы отвечать вызовам постиндустриального мира. Вопросы о том, каким способом осуществляются системные инновации или изменения в социально-технических системах и в какой форме могут быть организованы принципы и механизмы макростратегического управления ими, являются весьма актуальными. Не менее актуален вопрос обеспечения притока ресурсов на технологическое развитие, таких как государственное финансирование или частный капитал. **Цель** статьи — исследование новой модели внедрения инноваций в социально-технических системах на основе подхода системной динамики. Используются **методы**: системного подхода к анализу экономических процессов и явлений, статистического и эконометрического анализов, приемы группировки и классификации, экономико-математического моделирования, приемы сравнительного исторического и межстранового анализа, прогнозирования и экспертных суждений. Исследованы методологические принципы и механизмы макростратегического управления динамикой технологических инновационных систем и обеспечения их финансовой поддержки. Предложен новый методологический подход на основе системной динамики, который комбинирует в себе две современные концепции управления технологическими инновационными системами: концепцию «двигателей инноваций», основанную на исследованиях о новых технологических инновационных системах, и концепцию «трехвекторного модуля перехода». Выявлена модель возникновения или упадка технологических инновационных систем в контексте различных переходных процессов (изменений) в социально-технических системах. **Научная новизна** исследования заключается в разработке нового и совершенствовании уже применяющихся ключевых методологических подходов стратегического управления динамикой технологических инновационных систем. Сделан **вывод**, что предложенный автором новый методологический подход обеспечивает важный первый шаг в направлении исследования более формализованных моделей изучения динамики технологических инновационных систем. **Ключевые слова**: инновация; динамика; технологическая инновационная система; модель; подход; финансовая поддержка

Для цитирования: Матризаев Б.Д. Исследование методологических принципов и финансовых механизмов макростратегического управления динамикой технологических инновационных систем. *Финансы: теория и практика*. 2022;26(1):144-155. DOI: 10.26794/2587-5671-2022-26-1-144-155

Research of Methodological Principles and Financial Mechanisms of Macro-Strategic Management of the Dynamics of Technological Innovation Systems

B.D. Matrizayev

Financial University, Moscow, Russia

ABSTRACT

Production and consumption systems need radical innovations to meet the challenges of the post-industrial world. The questions of how systemic innovations or changes in socio-technical systems are implemented and in what form the principles and mechanisms of macro-strategic management of them can be organized are very relevant. Equally relevant is the issue of ensuring the inflow of resources for technological development, such as public funding or private capital. **The aim** of the article is to study a new model for the implementation of innovations in socio-technical systems based on a system dynamics

approach. The author applies **methods** of a systematic approach to the analysis of economic processes and phenomena, methods of statistical and econometric analysis, methods of grouping and classification, economic and mathematical modeling, methods of comparative historical and cross-country analysis, forecasting methods and expert judgments. The article examines the methodological principles and mechanisms of macro-strategic management of the dynamics of technological innovation systems and ensuring their financial support. The author proposes a new methodological approach based on system dynamics, which combines two modern concepts of technological innovation systems management: the concept of “innovation engines”, based on the research on new technological innovation systems, and the concept of a “three-vector transition module”. A model of the emergence or decline of technological innovation systems in the context of various transitional processes (changes) in socio-technical systems is identified. **The scientific novelty** of the research lies in the development of new and improvement of the key methodological approaches currently used for the strategic management of the dynamics of technological innovation systems. **The conclusions** of the article show that the new methodological approach proposed by the author provides an important first step towards the study of more formalized models for studying the dynamics of technological innovation systems. **Keywords:** innovation; dynamics; technological innovation system; model; approach; financial support

For citation: Matrizaev B.D. Research of methodological principles and financial mechanisms of macro-strategic management of the dynamics of technological innovation systems. *Finance: Theory and Practice*. 2022;26(1):144-155. DOI: 10.26794/2587-5671-2022-26-1-144-155

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня большинство современных стран сталкиваются с серьезными социально-экономическими вызовами постиндустриального развития, такими как старение населения, изменение климата, истощение природных ресурсов и др. И во многих исследованиях признается уже весьма очевидным тот факт, что для решения этих проблем недостаточны постепенные изменения, направленные на повышение эффективности производства или внедрение новых решений в существующих социально-технических системах. Авторы этих исследований все чаще утверждают, что целые системы производства и потребления, являющиеся составными компонентами социально-технических систем, нуждаются в радикальных инновациях [1].

Область науки, связанная с изучением динамики технологических инновационных систем, является относительно молодой. Начало таким исследованиям было положено Д. Маркардом [2] в 2008 г. А вопросы о том, каким способом осуществляются системные инновации или изменения в социально-технических системах и в какой форме могут быть организованы принципы и механизмы макростратегического управления изменениями в социально-технических системах, и вовсе остаются малоисследованными. Исключение составляет ограниченное число исследований в рамках программы ООН «Переход к устойчивому развитию»¹.

В то время как в последние годы данная область исследований расширяла свою концептуальную базу, два других концептуальных направления параллельно

продолжали структурировать дебаты и анализ в этой области. Первую концепцию технологических инновационных систем, т.е. «двигателей инноваций», предложили А. Бергек и М. Хеккерт [3]. Вторая концепция «устойчивого перехода» была предложена Д. Маркардом [4]. Благодаря многочисленным эмпирическим исследованиям в области ретроспективного и современного анализа изменений в социально-технических системах и осуществления системных инноваций было достигнуто существенное понимание закономерностей и механизмов, влияющих на направление и масштабы трансформационных изменений. Так, возможные подходы к макростратегическому управлению динамикой технологических инновационных систем обсуждались в исследованиях А. Смита «Рефлексивное управление» [5], Д. Лурбаха «Управление переходным процессом» [6], Р. Кемпа «Стратегическое управление нишами» [7]. В настоящее время в применении и развитии этих аналитических подходов и методов управления преобладают качественные тематические подходы. Хотя существуют некоторые заметные исключения, в том числе работы Г. Хольца [8], в которых исследовано использование формальных подходов к моделированию трансформации социально-технических систем.

Моделирование переходов к устойчивому развитию — сложная задача из-за многомерности вовлеченных процессов, но расширение методологического инструментария исследования переходного процесса является плодотворным направлением для дальнейшего изучения. Оно ставит перед исследователями задачу более точно сформулировать и изучить причинно-следственные связи между различной динамикой развивающихся систем.

Наше исследование призвано внести вклад в эту группу научных изысканий путем выявления модели возникновения или упадка технологических

¹ Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. United Nations. Department of Economic and Social Affairs. Sustainable Development. URL: <https://sdgs.un.org/2030agenda> (дата обращения: 18.09.2021).

инновационных систем в контексте различных переходных процессов (изменений) в социально-технических системах и на этой основе разработки нового формального подхода и совершенствования уже применяющихся ключевых методологических подходов стратегического управления динамикой технологических инновационных систем. Этого возможно достигнуть во многом благодаря использованию концепции А. Бергека и М. Хеккерта «двигателей инноваций», которая хорошо согласуется с формальной моделью системной динамики с точки зрения как причинно-следственной связи, так и модели обратной связи. Сочетается это и с концепцией «трехвекторного модуля перехода», которая была разработана автором в рамках подхода «устойчивого перехода».

По существу, данная статья вносит важный вклад в эту область исследований, предлагая формальную модель, которая является комбинацией двух ключевых подходов. Хотя рассматриваемый нами в данной статье второй подход, как утверждали такие авторитетные исследователи, как Д. Маркард, Б. Траффер [2], К. Вебер [9] и др., имеет потенциальные серьезные преимущества, тем не менее немногие исследователи рассматривали эти аспекты с позиции критического анализа.

Главный вопрос, на поиск ответа которого направлена данная статья, звучит так: «Как возникают (или приходят в упадок) технологические инновационные системы в контексте различных переходных процессов в социально-технических системах и какая стратегия управления способна повысить эффективность их динамики?». На этот вопрос возможно ответить с помощью решения следующих структурных задач исследования.

Прежде всего нам необходимо провести глубокий теоретико-методологический анализ имеющихся исследований по технологическим инновационным системам, подхода «устойчивого перехода» и других подходов к моделированию социально-технических изменений.

Далее мы представим теоретическое описание подхода к моделированию, используемому в нашем исследовании.

Затем мы перейдем к обсуждению результатов поведения нашей модели на основе анализа динамики технологических инновационных систем в контексте подхода «устойчивого перехода» и при различных условиях притока ресурсов на технологическое развитие. Главным образом, это внешние ресурсы, такие как государственное финансирование или частный капитал, без которых не может быть развития технологической инновационной системы.

В заключение мы обобщим наши выводы и перспективы дальнейших исследований.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИННОВАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Несмотря на то что в широких научно-исследовательских кругах по устойчивому развитию, безусловно, не игнорируют интерес к подходам в моделировании перехода к устойчивому развитию², сторонники концепции перехода к устойчивому развитию только недавно начали глубоко изучать потенциальные возможности более формальных подходов. Одна из первых новаторских попыток разработать модель для объяснения многоуровневой динамики социально-технических изменений была предпринята в контексте проекта Европейского союза [10].

Модель Европейского союза была основана на методах агентного моделирования с некоторыми элементами системной динамики, была предпринята попытка реновации четырех ранее проведенных тематических исследований. По результатам данного исследования было сделано заключение, что модель более напоминала аналогию метода эвристики³ применительно к инновационным системам, примененного в попытке отражения общей динамики взаимодействий между нишами, режимом и ландшафтами технологической инновационной системы. Оказалось, что непросто смоделировать различные векторы таким образом, чтобы они представляли исторические наработки, фиксирующие результаты ранее проведенных тематических исследований.

В более общем плане, с 2012 г. было опубликовано несколько обзоров результатов тематических исследований по моделированию переходов к устойчивому развитию, указывающих на формирующийся тематический научно-исследовательский круг [11–13]. В вышеупомянутых обзорах была подчеркнута важность сокращения объема моделей перехода, т.е. сосредоточения модели на отдельных частях общей динамики перехода, для повышения потенциала производительности модели. Также была подчеркнута необходимость анализа чувствительности для проверки последствий «дополнительных допущений» [14].

² Club of Rome. The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind. Universe Books, New York. 1972.

³ Метод эвристики в экономике — это метод анализа экономических явлений и процессов, основанный на интуиции, аналогиях, опыте, изобретательности, опирающийся на способности интуитивно решать те задачи, для которых формальное математическое решение не известно.

Ряд исследователей утверждают, что эволюционная теория и существующие эволюционные модели могут быть хорошей отправной точкой для анализа системных инноваций и социально-технических изменений, учитывая, что модели перехода, такие как «устойчивый переход», уже основаны на эволюционной теории [4]. Кроме того, в своих исследованиях Д. Халбе [12] приходит к заключению, что повестка дня по моделированию переходов может быть дополнена путем объединения абстрактных подходов более высокого уровня, таких как «устойчивый переход», с абстрактными подходами более низкого уровня, чтобы сделать их более сопоставимыми.

Мы считаем, что опора на исследования по технологическим инновационным системам является многообещающим фактором в повестке дня по моделированию переходных процессов. Примечательно, что, несмотря на их заметную привлекательность (значимость) в общем массиве научной литературы по переходным процессам, насколько нам известно, до сих пор не существует исследований, в которых была бы предпринята попытка смоделировать динамику технологических инновационных систем. Это парадоксально, учитывая, что данный подход уже продвинулся глубоко в довольно сложном понимании того, как различные процессы или функции влияют друг на друга и как эти взаимодействия формируют появление новых инновационных систем. Они служат хорошей отправной точкой для моделирования, учитывая, что многие из лежащих в его основе причинно-следственных связей и методов обратной связи уже были довольно подробно описаны и протестированы в большом количестве ранее проведенных тематических исследований. В этом отношении подход технологических инновационных систем содержит все компоненты, которые хорошо сочетаются при разработке формальной модели. В то же время моделирование технологических инновационных систем обладает потенциалом для углубления нашего понимания сложного поведения, вытекающего из сложных взаимосвязей и динамики. Отдельные подходы к системам технологических инноваций подробно обсуждались в других исследованиях [15, 16]. Главным образом, имеющийся массив научной литературы по технологическим инновационным системам посвящен пониманию того, как новые инновационные системы возникают вокруг отдельных технических инноваций, таких как биогаз, солнечные фотоэлектрические технологии или электромобили, а также мерам для поддержки процессов разработки и распространения этих инноваций.

Между тем, напомним, что ключевыми аспектами концепции технологической инновационной системы

являются «системные функции». Аналогично методологии А. Бергека и М. Хеккерта [3], мы выделяем 7 различных функций:

- 1) предпринимательская деятельность;
- 2) развитие знаний;
- 3) распространение знаний;
- 4) руководство поиском;
- 5) формирование рынка;
- 6) мобилизация ресурсов;
- 7) создание легитимности.

Помимо перечисленных функций, в научной литературе проводится различие между «структурными измерениями». Как отмечал в своих исследованиях А. Вичорек [15], эти «структурные измерения» относятся к сетям и отношениям между субъектами (например, на уровне сетей или индивидуальных контактов), институтами (например, правилами, положениями, обычаями, процедурами и т.д.) и технологическими структурами (например, инфраструктурой).

Заметим, что в научной литературе по технологическим инновационным системам существует некоторая путаница в отношении того, каким образом функции соотносятся со структурами. К. Хиллман утверждает, что функции следует понимать как «процессы построения структуры» [14]. С этой точки зрения функции — это процессы, которые формируют контуры развития таких структур, как новые субъекты, инфраструктуры или институты. Другие исследователи утверждают, что функции обладают аналитическими свойствами инновационной системы, которые могут быть использованы в оценочных целях: «функции показывают состояние конкретной инновационной системы в определенный момент времени» [17]. Мы же в данной статье в значительной степени придерживаемся второй точки зрения и предполагаем, что отношения между функциями и структурами моделируются только на агрегированном уровне.

Большое количество исследований по системам технологических инноваций было посвящено пониманию того, каким образом взаимодействия между функциями формируют развитие этих инноваций. В данном контексте в качестве отправной точки для разработки модели технологических инновационных систем мы следуем методологии Р. Суурса [11]. В своих исследованиях Р. Суурс предложил гипотезу о том, что функции влияют друг на друга на разных этапах развития инновационной системы, тем самым сгруппировав их в концепцию «двигателей инноваций». Точнее, им была разработана конфигурация причинно-следственных связей на основе масштабных тематических исследований. Такой причинно-следственный анализ хорошо согласуется с принципом разработки формальной модели динамики системы,

поскольку модель содержит все компоненты (например, причинно-следственную логику, замедление и метод обратной связи).

В своих исследованиях Р. Суурс [11] выделяет четыре так называемых «двигателя» инноваций. В качестве первого «двигателя» он рассматривает «двигатель научно-технического прогресса», который относится к тем моделям инновационных систем, в которых центральное место занимают развитие и распространение формальных научных знаний, поддерживаемых государственными программами НИОКР. Результатом такой модели производства и распространения знаний является формирование первоначальных экспериментальных проектов и других видов предпринимательской деятельности, которые могут увеличить дальнейшую финансовую и институциональную поддержку в случае, если результаты подтверждают первоначальные ожидания или же, напротив, могут уменьшить поддержку в случае, если результаты этих проектов воспринимаются как негативные. Ключевыми функциями этого «двигателя» являются «развитие знаний», «распространение знаний», «управление поиском» и «мобилизация ресурсов».

В качестве второго «двигателя» Р. Суурс рассматривает «предпринимательский двигатель», который относится к моделям инновационных систем, в которых основная динамика инноваций формируется за счет увеличения числа фирм и предпринимателей, проявляющих активность в инновационной системе, что повышает легитимность в глазах внешних инвесторов. В ряде случаев существуют также специальные линии дальнейшего предоставления внешних ресурсов, например, фирмам, стремящимся получить временную финансовую поддержку для снижения рисков при инвестировании в венчурные проекты.

В результате неустойчивой коммерческой деятельности на нишевых рынках некоторые первоначальные финансовые ресурсы также генерируются внутри инновационной системы. Эти обратные связи способствуют развитию знаний путем, например, публикаций технико-экономических обоснований или обзорной информации предполагаемых инновационных проектов. Следовательно, динамика «обучения», составляющая основу этого «двигателя», расширяется от «обучения» путем поиска до «обучения» на практике. Ключевые функции этого «двигателя» аналогичны функциям в предыдущем «двигателе научно-технического прогресса» за исключением того, что «предпринимательская деятельность» и «создание легитимности» здесь играют доминирующую роль.

Третьим двигателем является «двигатель формирования системы» — это модель динамики инновационной системы, которая формируется за счет

растущей организации сетевых участников, развития инфраструктуры и институциональной реконфигурации. Эти субъекты, поддерживающие инновационную систему, расширяются и начинают привлекать более широкую общественную поддержку [11], например, путем создания сообществ пользователей или институционализации рыночных отношений путем изменения нормативных правил или строительства дополнительной инфраструктуры. В качестве практического примера здесь можно привести создание широкой сети зарядных станций для электромобилей. «Двигатель формирования системы» является социально и институционально особенно сложным этапом в развитии инновационной системы, поскольку объем необходимых ресурсов в данной модели значительно возрастает по сравнению с двумя предыдущими «двигателями», в то время как объем внутренних ресурсов, генерируемых за счет рыночных продаж, все еще ограничен. Следовательно, с точки зрения функций в этом «двигателе» все функции важны, но функция «формирование рынка» имеет решающее значение [17].

Последним, четвертым, «двигателем» выступает «двигатель рынка». Когда акторы инновационной системы успешно начинают ориентироваться в новой институциональной конфигурации, созданной в рамках третьего «двигателя», утверждается, что инновационная система начинает создаваться «двигателем рынка». Это преимущественно относится к модели инновационной системы, которая поддерживается внутренними финансовыми ресурсами за счет значительного рыночного спроса, достаточного для поддержания всех необходимых процессов в инновационной системе. С точки зрения функциональных компонентов в данном «двигателе» все функции являются важными, но функция «создание легитимности» играет менее важную роль [17].

В завершение к подходу Р. Суурса отметим, что, несмотря на наличие явных преимуществ, данный подход подвергался критике за ограниченное концептуальное понимание того, как формирующаяся инновационная система взаимодействует со своей более широкой средой [17], хотя при этом, как мы заметили, существуют концептуальные точки зрения, например как понятие «создание легитимности» [13] или понятие «механизмы блокирования и стимулирования» С. Якобсона [16]. Взаимодействие между инновационными системами и их контекстами имеет важное значение, поскольку технологические инновационные системы не возникают в вакууме, и их судьба зависит от того, как они взаимодействуют со своей более широкой средой и какова их динамика в этой среде.

Значительный вклад в формирование подхода технологической инновационной системы был сделан А. Бергеком [3], который ввел различие четырех видов «контекстов», имеющих отношение к динамике технологической инновационной системы.

В нашей модели мы интегрируем возникающие инновационные системы с понятием «вектор социально-технического перехода» [1]. Понятия «режим» и «ландшафт», введенные в контексте многоуровневого анализа, потенциально открывают плодотворные возможности для изучения этого взаимодействия между инновационной системой и контекстом [18].

Между тем, Ф. Гилс и Д. Шот [13] в своих исследованиях различают четыре различных типа «векторов перехода», в зависимости от времени взаимодействия между уровнями ниш, режимов и ландшафтов внутри технологической инновационной системы и характера взаимодействия между нишей и действующим социально-техническим режимом. В свою очередь, время взаимодействия между уровнями различает:

1) время возникновения давления на технологический ландшафт, когда ниша еще существенно не развилась;

2) время возникновения давления на технологический ландшафт, когда ниша уже существенно развилась.

Природа взаимодействий различает:

1) конкурентные отношения между нишей и существующим режимом;

2) созависимые отношения между нишей и существующим режимом.

В своих исследованиях Ф. Гилс и Д. Шот [13] отмечают, что «...нишевые инновации имеют конкурентные отношения с существующим режимом, когда они стремятся заменить его. Нишевые инновации имеют созависимые отношения, если они могут быть приняты в качестве дополнения, повышающего компетентность в существующем режиме, для решения проблем повышения производительности». В нашем же случае мы интерпретируем этот критерий следующим образом. В случае конкурентных отношений существующий режим реагирует на формирующуюся инновационную систему, активизируя свои усилия по лоббированию против формирующейся технологической инновационной системы и наращивая инновационные усилия в доминирующем социально-техническом режиме, например за счет новой волны инноваций в существующей технологии. Например, повышение экологической эффективности угольных технологий в ответ на инновации в области чистых технологий. Или когда акторы выбирают части формирующейся

инновационной системы (например, совместное сжигание органических отходов на угольных электростанциях). Последний пример вошел в науку в качестве так называемого «эффекта парусного корабля», предложенного А. Купером и К. Смитом [17], благодаря которому эффективность действующего режима улучшается в свете роста новых технологических инновационных систем. Действие «эффекта парусного корабля», таким образом, увеличивает сложность внедрения инновационной системы по отношению к действующему режиму. В случае созависимых отношений этот эффект все еще присутствует, но значительно более ограничен, поскольку формирующаяся инновационная система испытывает меньшую конкуренцию с основными рынками (просто из-за их природы созависимости).

Все вышесказанное обобщенно можно выразить в следующих трех основных модулях перехода как интегралов для формирующихся технологических инновационных систем.

1. «Направление перехода», в котором:

а) давление на ландшафт возникает в тот момент, когда технологическая инновационная система еще существенно не развилась;

б) первоначальное сопротивление социально-техническому режиму велико, потому что субъекты режима реагируют на это давление, наращивая свои инновационные усилия в доминирующем социально-техническом режиме, и только затем медленно и нерешительно ищут инновации за пределами границ режима.

2. «Направления дерегулирования и прорегулирования», в котором:

а) давление на ландшафт также возникает в тот момент, когда система технологических инноваций еще существенно не развита;

б) субъекты режима теряют веру в существующий социально-технический режим и активно ищут альтернативы, т.е. сопротивление режиму относительно невелико.

3. «Направление стратегической трансформации», которое можно разделить на два субнаправления:

- «направление технологической замены», при котором:

а) давление на технологический ландшафт возникает в тот момент, когда технологическая инновационная система извлекла выгоду из предыдущих значительных усилий по поддержке и развитию;

б) действующие акторы социально-технического режима продолжают поддерживать существующую социально-техническую конфигурацию посредством инновационных усилий;

- «направление реконфигурации», при котором:

а) давление на ландшафт также возникает в тот момент, когда технологическая инновационная система уже существенно развита;

б) акторы социально-технического режима начинают адаптировать элементы этой инновационной системы к существующей социально-технической конфигурации, что подразумевает относительно низкое сопротивление режиму.

Далее мы подробно объясним, каким образом нам удалось объединить эти две концепции в единую формальную модель. Впоследствии мы используем модель для изучения динамики технологической инновационной системы в контексте трех различных модулей перехода, перечисленных выше.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИННОВАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Поскольку рост и спад технологической инновационной системы представляют собой динамически сложное явление, существует возможность разработать модель с помощью концепции «системной динамики», лежащей в основе исследования процессов их роста и спада. Концепция «системной динамики» позволяет исследовать множество взаимодействующих процессов и обратные связи, временные замедления и другие нелинейные эффекты. Как известно, каждый методологический подход имеет преимущества и недостатки, включая формальные модели. Прежде всего, в попытке сохранить модель как можно более агрегированной и универсальной мы представим общую модель, и она не способна охватить инновационную систему, специфичную для конкретной технологии. Мы считаем, что это объяснимо, учитывая, что сам подход технологической инновационной системы основан на применении общей концепции для изучения различных технологических инноваций. Во-вторых, модель предполагает цепную взаимосвязь: «единая технологическая инновационная система» — «единый социально-технический режим». Наконец, следуя методологии предыдущих исследователей [19, 20] и для повышения производительности модели мы сфокусируемся только на одной части всеобъемлющей динамики перехода. Точнее, мы будем стремиться воспроизвести первоначальный рост (и возможное снижение) технологической инновационной системы в контексте доминирующего социально-технического режима (вместо моделирования полного перехода от начала к концу). Из-за сложности модели «системной динамики» мы огра-

ничимся описанием основных постулатов (положений) и результатов нашего исследования динамики модели и не будем вдаваться в подробное объяснение всех уравнений.

Итак, основными компонентами моделей «системной динамики» являются запасы, потоки и переменные. Модель признает существование четырех «двигателей» [21], описанных нами выше, которые впоследствии преобразуются в пять «векторов» обратной связи. Эти пять циклов состоят из семи функций, описанных А.Я. Вечорек и М.П. Хеккертом [15]. Более конкретно, одна часть представляет собой развитие технологий и состоит из двух балансирующих «векторов» обратной связи: «цикл развития технологий» и «цикл распространения знаний». Вместе они образуют двигатель «научно-технического развития». Другая часть модели в основном касается развития рынка, которое состоит из трех самоусиливающих «векторов» обратной связи: «предпринимательский двигатель», «двигатель формирования системы» и «двигатель рынка». Следуя логике Ф. Гилса и Д. Шота [13], мы также предполагаем существование «сопротивления режима по отношению к технологической инновационной системе», т.е. противодействие самоусиливающейся рыночной динамике модели.

Что касается части технологического развития модели, то «развитые технологические знания» и «распространенные технологические знания» изменяются (с определенным лагом) в результате вмешательства внешних ресурсов (таких как государственное финансирование или частный капитал) или, после их вмешательства, за счет внутренних ресурсов, поступающих с нишевого рынка. Оба этих запаса ресурсов уменьшаются, если их потоки значительно сокращаются или прекращаются. Без устойчивого притока ресурсов на технологическое развитие — в результате действия функции «мобилизация ресурсов» (сочетание внешних и внутренних ресурсов) — не может быть развития технологической инновационной системы.

В свою очередь, «развитые технологические знания» и «распространенные технологические знания» приводят в действие функцию «руководство поиском». Например, успешная реализация исследовательского проекта, способствующего «развитию технологических знаний» и/или «распространению технологических знаний», может привести к высоким ожиданиям, что способствует развитию функции «руководство поиском» [22]. Однако мы согласны с мнением А.Я. Вечорек и М.П. Хеккерта [15], которые считают, что «руководство поиском [...]» часто представляет собой интерактивный и совокупный процесс обмена идеями между производителями технологий, пользователями технологий и многими

другими участниками, в котором сама технология является не константой, а переменной».

В ряде эмпирических тематических исследований «руководство поиском» часто является функцией государственных вмешательств путем реализации государственных инновационных программ [23]. Следовательно, в нашей модели эти тенденции отражаются в том факте, что функция «руководство поиском» формируется не только развитием и распространением технологий, но и непосредственно ресурсами, предоставляемыми извне (например, из государственных инновационных программ) и внутри страны (например, ресурсами, поступающими с нишевых рынков).

При этом необходимо подчеркнуть, что функции «создание легитимности технологической инновационной системы» и «предпринимательская деятельность» играют ключевую роль в «предпринимательском двигательном цикле». Эффективность функции «создание легитимности» зависит как от технологической, так и от рыночной легитимности. Технологическая легитимность возрастает по мере развития и распространения технологических знаний [24]. Рыночная легитимность возрастает, когда технологическая инновационная система все больше институционализируется в соответствующих категориях (таких как разработка формальных рыночных правил, создание посреднических сетей, наращивание инфраструктуры и т.д.). Также на рыночную легитимность негативно влияет сопротивление режиму (например, когда субъекты режима пытаются влиять на публичные дискурсы или лоббировать против поддержки технологической инновационной системы). Что касается «предпринимательского двигательного цикла», мы отмечаем, что более высокий уровень легитимности подразумевает, что предприниматели более охотно осуществляют действия в рамках технологической инновационной системы (не в последнюю очередь потому, что система воспринимается в соответствии с определенными правилами и институтами). Это приводит к более высокому уровню «предпринимательской активности». Мы предполагаем существование криволинейной зависимости между изменением функции «создание легитимности» и изменением функции «предпринимательская деятельность». Данная зависимость подразумевает, что чем выше создаваемая легитимность, тем больше предпринимателей становятся активными — просто потому, что риск, связанный с разработкой таких предложений, снижается по мере повышения легитимности, и наоборот [25].

Рассматривая «двигатель формирования системы», отметим, что здесь увеличение функции «предпри-

нимательская активность» приводит к «циклу формирования системы». Точнее, увеличение функции «предпринимательская активность» подразумевает развитие сетей субъектов: например, предприниматели организуют себя путем расширения сетей и создания посредников, таких как отраслевые платформы, посредники пользователей и другие группы интересов. Также происходит инфраструктурная активность и попытки институциональной реконфигурации. Модель фиксирует это через показатель «запасы/потоки» этих структур.

Мы предполагаем, что влияние предпринимателей на процессы формирования этих структур становится все более значительным по мере роста функции «предпринимательская активность», что отражает потребность в накоплении определенной критической массы, прежде чем можно будет оказать существенное влияние. Таким образом, мы еще раз отмечаем запаздывающую и нелинейную зависимость между функцией «предпринимательская деятельность» и структурами системы. Появление структур технологической инновационной системы обеспечивает реальную значимость для формирующихся звеньев системы, поскольку это подразумевает расширение круга участников для поддержки инновационной системы, что приводит к более широкой общественной поддержке [26]. Таким образом, рост структур технологической инновационной системы увеличивает легитимность самой системы, что делает «цикл двигателя формирования системы» усиливающейся по своей природе [27].

И наконец, касаясь рыночного двигателя можно лишь отметить то, что рост функции «предпринимательская деятельность» также приводит (хотя и с определенным лагом) к росту «нишевого рынка». Тем не менее «нишевый рынок» может по-настоящему развиваться только тогда, когда акторы технологической инновационной системы успешно ориентируются в создании структур самой системы. Более того, инновационная система может стать самодостаточной для поддержания всех необходимых процессов в своей системе, поскольку «нишевый рынок» способен генерировать «совокупные доступные ресурсы», необходимые для этого. В этом отношении, хотя все «двигатели» («векторы») играют важную роль в создании технологической инновационной системы, при этом «рыночный вектор двигателя» представляет собой наиболее мощный самоусиливающийся вектор, потенциально способный управлять всей системой. Наконец, мы отмечаем, что, как и в случае с технологическим звеном модели, все функции (запасы) в «предпринимательских», «системных» и «рыноч-

ных» двигателях снижаются, если потоки ресурсов значительно сокращаются или прекращаются.

ЭМПИРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Чтобы изучить работу модели и исследовать динамику технологической инновационной системы (рост/стагнация) в контексте различных «векторов перехода», мы применили экспериментальную модель с тремя переменными условиями:

- 1) время давления ландшафта;
- 2) тип связи между технологической инновационной системой и режимом;
- 3) условия предоставления ресурсов.

В рамках первого условия в нашей экспериментальной модели время изменения ландшафтного давления происходит либо в тот момент, когда технологическая инновационная система уже начала развиваться за счет предоставления внешних ресурсов, либо в тот момент, когда она еще не начала развиваться. В последнем случае внешние ресурсы предоставляются одновременно с давлением ландшафта. Этот момент отражает первые критерии в типологии «направлений перехода», предложенной Ф.В. Гельсом и Дж. Шотом [13].

Второе переменное условие относится к соотношению между технологической инновационной системой и режимом, которое относится ко второму критерию, предложенному Ф.В. Гельсом и Дж. Шотом [13]. Здесь мы наблюдаем два различных «эффекта парусного корабля» в зависимости от отношений между технологической инновационной системой и режимом: один эффект, это когда действующий режим конкурирует с технологической инновационной системой, и другой эффект, когда он созависим. Эти «эффекты парусного корабля» различаются по значению эффекта (больше для первого) и продолжительности эффекта (дольше для первого). Точнее, мы предполагаем, что конкурентный режим способен генерировать «эффект парусного корабля», который увеличивает «устойчивость режима к технологической инновационной системе» до 27 процентных пунктов в течение 205 месяцев; в то время как режим созависимости вызывает увеличение «эффекта парусного корабля» на 5,4 процентных пунктов в течение 15 месяцев.

Третье переменное условие относится к «условиям ресурсов». Ресурсные условия относятся к наличию внешних ресурсов (таких как финансы или человеческий капитал), которые может использовать технологическая инновационная система. В общем случае мы предполагаем фиксированное количество ресурсов, которое не меняется между запусками модели. Однако в нашей экспериментальной модели мы различаем три вида «ресурсных условий»:

а) технологически ориентированные условия — относящиеся к ситуации, когда имеется значительная доступность ресурсов для технологического развития (например, в форме государственной и частной поддержки НИОКР или крупного рынка инженерной рабочей силы), но при этом меньшая доступность ресурсов для развития рынка (например, субсидии на покупку устойчивых товаров);

б) условия, ориентированные на рынок, — относятся к противоположной ситуации, т.е. значительные ресурсы имеются для развития рынка, но в меньшей степени для технологического развития;

в) гибридные условия — относятся к ситуации, когда технологическая инновационная система может первоначально в значительной степени использовать ресурсы, ориентированные на технологии, в то время как на более поздних этапах разработки могут использовать значительные ресурсы, ориентированные на рынок.

Наконец, мы приведем результаты тестирования нашей модели с использованием фиксированных объемов внешних ресурсов как на 10, так и на 15 лет, чтобы определить влияние продолжительности, с которой ресурсы становятся доступными для технологической инновационной системы в течение относительно более короткого или более длительного периода времени. Эти периоды времени примерно основаны на средней оценке «нейтрального лага» — времени, необходимого между изобретением и инновацией. Таким образом, мы исследовали все три модуля перехода, умноженные на три вида ресурсных условий, проведя в общей сложности 9 проверочных тестов.

ВЫВОДЫ И НАПРАВЛЕНИЯ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В данной статье перед нами стояла цель исследовать, как возникают или приходят в упадок технологические инновационные системы в контексте различных социально-технических переходных процессов и какие методологические принципы и механизмы лежат в основе макростратегического управления динамикой технологических инновационных систем. Мы считаем, что максимально приблизились к поставленной цели главным образом с помощью модели «системной динамики», которая основана на концепции «двигателей инноваций», используемой в методологии о новых технологических инновационных системах, и на концепции «трехмодульного вектора перехода» как составного элемента теории «устойчивого перехода». Таким образом, научно-методологический вклад нашей статьи состоит в совершенствовании существующей методологии исследования путем интегриро-

вания двух ключевых подходов, а именно технологической инновационной системы и «устойчивого перехода» в одну интегральную модель системной динамики, которая может послужить основой для будущих исследований. Чтобы проиллюстрировать динамику, возникающую в результате такой комбинации, мы разработали и применили экспериментальную модель с тремя переменными условиями, характеризующимися влиянием экзогенных условий. Поскольку ввиду сложности модели «системной динамики» в данной статье мы ограничились описанием основных результатов нашей экспериментальной динамической модели и не вдавались в подробное описание всех уравнений, предполагаем подробно описать их в следующих публикациях, уже с учетом калибровки модели для конкретной инновационной системы.

Таким образом, наши результаты показывают, что мы можем быть уверены в общем функционировании

модели, хотя и в максимально приближенном значении. В этом отношении предложенный нами новый методологический подход обеспечивает важный первый шаг в направлении исследования более формализованных моделей изучения динамики технологических инновационных систем.

На основе нашей представленной работы могут быть исследованы различные направления. Во-первых, в будущих исследованиях наш подход может быть адаптирован для изучения и совершенствования стратегий управления инновационными системами, например, путем дальнейшего развития на основе условий использования ресурсов на различных «векторах» перехода. Во-вторых, в будущих исследованиях наш подход может быть расширен путем включения аспектов взаимодействия между несколькими технологическими инновационными системами, возникающими в контексте одного или нескольких социально-технических режимов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Матризаев Б.Д. Исследование отличительных особенностей режимов бизнес-инноваций и их влияния на результаты инновационной деятельности макрорегионов. *Вопросы инновационной экономики*. 2020;10(4):2021-2036. DOI: 10.18334/vinec.10.4.110880
2. Markard J., Truffer B. Technological innovation systems and the multi-level perspective: Towards an integrated framework. *Research Policy*. 2008;37(4):596-615. DOI: 10.1016/j.respol.2008.01.004
3. Bergek A., Hekkert M., Jacobsson S., Markard J., Sandén B., Truffer B. Technological innovation systems in contexts: Conceptualizing contextual structures and interaction dynamics. *Environmental Innovation and Societal Transitions*. 2015;16:5164. DOI: 10.1016/j.eist.2015.07.003
4. Markard J., Raven R., Truffer B. Sustainability transitions: An emerging field of research and its prospects. *Research Policy*. 2012;41(6):955-967. DOI: 10.1016/j.respol.2012.02.013
5. Smith A., Raven R. What is protective space? Reconsidering niches in transitions to sustainability. *Research Policy*. 2012;41(6):1025-1036. DOI: 10.1016/j.respol.2011.12.012
6. Loorbach D. Transition management for sustainable development: A prescriptive, complexity-based governance framework. *Governance*. 2010;23(1):161-183. DOI: 10.1111/j.1468-0491.2009.01471.x
7. Kemp R., Schot J., Hoogma R. Regime shifts to sustainability through processes of niche formation: The approach of strategic niche management. *Technology Analysis & Strategic Management*. 1998;10(2):175-198. DOI: 10.1080/09537329808524310
8. Holtz G., Alkemade F., Haan F., Köhler J., Trutnevyte E., Luthe T., Halbe J., Papachristos G., Chappin E., Kwakkel J., Ruutu S. Prospects of modelling societal transitions: Position paper of an emerging community. *Environmental Innovation and Societal Transitions*. 2015;17:41-58. DOI: 10.1016/J.EIST.2015.05.006
9. Weber K.M., Rohracher H. Legitimizing research, technology and innovation policies for transformative change: Combining insights from innovation systems and multi-level perspective in a comprehensive 'failures' framework. *Research Policy*. 2012;41(6):1037-1047. DOI: 10.1016/j.respol.2011.10.015
10. Bergman N., Haxeltine A., Whitmarsh L., Köhler J., Schilperoord M., Rotmans J. Modelling socio-technical transition patterns and pathways. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. 2008;11:78-89.
11. Suurs R., Hekkert M. Motors of sustainable innovation: Understanding transitions from a technological innovation system's perspective. In: Verbong G., Loorbach D., eds. *Governing the energy transition: Reality, illusion or necessity?* New York, London: Routledge; 2012:152-179. (Routledge Studies in Sustainability Transition. Vol. 4). URL: https://www.researchgate.net/publication/255587265_Motors_of_sustainable_innovation
12. Halbe J., Reusser D.E., Holtz G., Haasnoot M., Stosius A., Avenhaus W., Kwakkel J.H. Lessons for model use in transition research: A survey and comparison with other research areas. *Environmental Innovation and Societal Transitions*. 2015;15:194-210. DOI: 10.1016/J.EIST.2014.10.001

13. Geels F.W., Schot J. Typology of sociotechnical transition pathways. *Research Policy*. 2007;36(3):399-417. DOI: 10.1016/j.respol.2007.01.003
14. Hillman K.M., Sandén B. Exploring technology paths: The development of alternative transport fuels in Sweden 2007–2020. *Technological Forecasting and Social Change*. 2008;75(8):1279-1302. DOI: 10.1016/j.techfore.2008.01.003
15. Wieczorek A.J., Hekkert M.P. Systemic instruments for systemic innovation problems: A framework for policy makers and innovation scholars. *Science and Public Policy*. 2012;39(1):74-87. DOI: 10.1093/scipol/scr008
16. Jacobsson S., Lauber V. The politics and policy of energy system transformation — explaining the German diffusion of renewable energy technology. *Energy Policy*. 2006;34(3):256-276. DOI: 10.1016/j.enpol.2004.08.029
17. Cooper A.C., Smith C.G. How established firms respond to threatening technologies. *Academy of Management Executive*. 1992;6(2):55-70. DOI: 10.4324/9780429469459
18. Абрамов Р. Диверсификация экономики регионов на основе инновационного развития. М.: LAP Lambert Academic Publishing; 2017. 228 с.
19. Акулова Е. Инновационные решения на пути к эффективному развитию экономики России. М.: LAP Lambert Academic Publishing; 2014. 680 с.
20. Асанов А. Инновационная система управления экономикой региона. М.: LAP Lambert Academic Publishing; 2012. 180 с.
21. Аузан А.А. Инновационное развитие экономики России: Междисциплинарное взаимодействие. М.: Проспект; 2016. 646 с.
22. Бабурин В.Л. Инновационные циклы в российской экономике. М.: URSS; 2014. 120 с.
23. Базилевич А.И. Инновационный менеджмент и экономика организаций (предприятий): практикум. М.: Инфра-М; 2016. 669 с.
24. Богатова Е.В. Инновационная экономика. М.: Русайнс; 2015. 88 с.
25. Борисов В.Н. и др. Модернизация промышленности и развитие высокотехнологичных производств в контексте “зеленого роста”. М.: Научный консультант; 2017. 434 с.
26. Борисов В.Н. и др. Прогнозирование инновационного машиностроения. М.: МАКС Пресс; 2015. 180 с.
27. Борисов В.Н. и др. Инновационно-технологическое развитие экономики России: проблемы, факторы, стратегии, прогнозы. М.: МАКС Пресс; 2005. 591 с.

REFERENCES

1. Matrizaev B.D. Study of business innovation regimes particularities and their impact on the results of innovation activity in macroregions. *Voprosy innovatsionnoi ekonomiki = Russian Journal of Innovation Economics*. 2020;10(4):2021-2036. (In Russ.). DOI: 10.18334/vinec.10.4.110880
2. Markard J., Truffer B. Technological innovation systems and the multi-level perspective: Towards an integrated framework. *Research Policy*. 2008;37(4):596-615. DOI: 10.1016/j.respol.2008.01.004
3. Bergek A., Hekkert M., Jacobsson S., Markard J., Sandén B., Truffer B. Technological innovation systems in contexts: Conceptualizing contextual structures and interaction dynamics. *Environmental Innovation and Societal Transitions*. 2015;16:5164. DOI: 10.1016/j.eist.2015.07.003
4. Markard J., Raven R., Truffer B. Sustainability transitions: An emerging field of research and its prospects. *Research Policy*. 2012;41(6):955-967. DOI: 10.1016/j.respol.2012.02.013
5. Smith A., Raven R. What is protective space? Reconsidering niches in transitions to sustainability. *Research Policy*. 2012;41(6):1025-1036. DOI: 10.1016/j.respol.2011.12.012
6. Loorbach D. Transition management for sustainable development: A prescriptive, complexity-based governance framework. *Governance*. 2010;23(1):161-183. DOI: 10.1111/j.1468-0491.2009.01471.x
7. Kemp R., Schot J., Hoogma R. Regime shifts to sustainability through processes of niche formation: The approach of strategic niche management. *Technology Analysis & Strategic Management*. 1998;10(2):175-198. DOI: 10.1080/09537329808524310
8. Holtz G., Alkemade F., Haan F., Köhler J., Trutnevyte E., Luthe T., Halbe J., Papachristos G., Chappin E., Kwakkel J., Ruutu S. Prospects of modelling societal transitions: Position paper of an emerging community. *Environmental Innovation and Societal Transitions*. 2015;17:41-58. DOI: 10.1016/j.EIST.2015.05.006
9. Weber K.M., Rohracher H. Legitimizing research, technology and innovation policies for transformative change: Combining insights from innovation systems and multi-level perspective in a comprehensive ‘failures’ framework. *Research Policy*. 2012;41(6):1037-1047. DOI: 10.1016/j.respol.2011.10.015

10. Bergman N., Haxeltine A., Whitmarsh L., Köhler J., Schilperoord M., Rotmans J. Modelling socio-technical transition patterns and pathways. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. 2008;11:78-89.
11. Suurs R., Hekkert M. Motors of sustainable innovation: Understanding transitions from a technological innovation system's perspective. In: Verbong G., Loorbach D., eds. *Governing the energy transition: Reality, illusion or necessity?* New York, London: Routledge; 2012:152-179. (Routledge Studies in Sustainability Transition. Vol. 4). URL: https://www.researchgate.net/publication/255587265_Motors_of_sustainable_innovation
12. Halbe J., Reusser D.E., Holtz G., Haasnoot M., Stosius A., Avenhaus W., Kwakkel J.H. Lessons for model use in transition research: A survey and comparison with other research areas. *Environmental Innovation and Societal Transitions*. 2015;15:194-210. DOI: 10.1016/J.EIST.2014.10.001
13. Geels F.W., Schot J. Typology of sociotechnical transition pathways. *Research Policy*. 2007;36(3):399-417. DOI: 10.1016/j.respol.2007.01.003
14. Hillman K.M., Sandén B. Exploring technology paths: The development of alternative transport fuels in Sweden 2007–2020. *Technological Forecasting and Social Change*. 2008;75(8):1279-1302. DOI: 10.1016/j.techfore.2008.01.003
15. Wieczorek A.J., Hekkert M.P. Systemic instruments for systemic innovation problems: A framework for policy makers and innovation scholars. *Science and Public Policy*. 2012;39(1):74-87. DOI: 10.1093/scipol/scr008
16. Jacobsson S., Lauber V. The politics and policy of energy system transformation — explaining the German diffusion of renewable energy technology. *Energy Policy*. 2006;34(3):256-276. DOI: 10.1016/j.enpol.2004.08.029
17. Cooper A.C., Smith C.G. How established firms respond to threatening technologies. *Academy of Management Executive*. 1992;6(2):55-70. DOI: 10.4324/9780429469459
18. Abramov R. Diversification of the regional economy on the basis of innovative development. Moscow: LAP Lambert Academic Publishing; 2017. 228 p. (In Russ.).
19. Akulova E. Innovative solutions on the way to the effective development of the Russian economy. Moscow: LAP Lambert Academic Publishing; 2014. 680 p. (In Russ.).
20. Asanov A. Innovative system of economic management of the region. Moscow: LAP Lambert Academic Publishing; 2012. 180 p. (In Russ.).
21. Auzan A.A. Innovative development of the Russian economy. Interdisciplinary interaction. Moscow: Prospekt; 2016. 646 p. (In Russ.).
22. Baburin V.L. Innovation cycles in the Russian economy. Moscow: URSS; 2014. 120 p. (In Russ.).
23. Bazilevich A.I. Innovation management and economics of organizations (enterprises): Workshop. Moscow: Infra-M; 2016. 669 p. (In Russ.).
24. Bogatova E.V. Innovative economy. Moscow: RuScience; 2015. 88 p. (In Russ.).
25. Borisov V.N. et al. Modernization of industry and development of high-tech industries in the context of “green growth”. Moscow: Nauchnyi konsul'tant; 2017. 434 p. (In Russ.).
26. Borisov V.N. et al. Forecasting of innovative mechanical engineering. Moscow: MAKS Press; 2015. 180 p. (In Russ.).
27. Borisov V.N. et al. Innovative and technological development of the Russian economy: Problems, factors, strategies, forecasts. Moscow: MAKS Press; 2005. 591 p. (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ / ABOUT THE AUTHOR



Бахадыр Джуманиязович Матризаев — кандидат экономических наук, доцент департамента экономической теории, Финансовый университет, Москва, Россия
Bahadyr D. Matrizaev — Cand. Sci. (Econ.), Assoc. Prof., Department of Economic Theory, Financial University, Moscow, Russia
<https://orcid.org/0000-0002-6270-9002>
 bmatrizaev@fa.ru

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
Conflicts of Interest Statement: The author has no conflicts of interest to declare.

Статья поступила в редакцию 05.10.2021; после рецензирования 20.10.2021; принята к публикации 22.12.2021.
The author read and approved the final version of the manuscript.