

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ОТРАСЛИ
ЭКОНОМИКИ, ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РОСТ И ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ**

ОРИГИНАЛЬНАЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ СТАТЬЯ
УДК: 330.341.1
JEL: O33
EDN: KJJBSF

**Конкуренция и диффузия инноваций:
динамический аспект****В.В. Ерохин^{1,2}, О.А. Павлютенкова²**

¹ Московский государственный институт (университет) международных отношений Министерства иностранных дел Российской Федерации, <https://ror.org/04zn7jb34>, Москва, Российская Федерация; e-mail: erohinvv@mail.ru

² Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, <https://ror.org/00pb8h375>, Москва, Российская Федерация; e-mail: erohinvv@mail.ru, olgapavl@bmstu.ru

Аннотация. Статья критикует устоявшиеся модели диффузии (Фишера-Прая, Басса и другие), которые рассматривают замещение как игру с нулевой суммой и игнорируют возможность коэволюции технологий. В условиях, когда новые и старые технологии долго сосуществуют, необходим более гибкий аналитический инструмент, что является актуальным подходом в исследовании развития инновационных технологий. Цель работы – предложить новую, более детализированную модель диффузии инноваций, оспаривающую парадигму чистой конкуренции. Авторы вводят концепции «симбиотической» и «хищнической» конкуренции для описания динамики сосуществования новых и устоявшихся технологий, на основе модели Лотки-Вольтерра. Модель позволяет анализировать эволюцию продуктовых поколений, что способствует системному стратегическому мышлению, помогающему избегать чрезмерных инвестиций в устаревающие бизнесы и выявлять новые возможности роста. Основным выводом исследования является, что предложенный подход особенно важен для анализа «прорывных» инноваций в цифровую эпоху, где границы продуктов и рынков размыты (например, переход от физических носителей к стримингу), а взаимодействие технологий носит особенно сложный и динамичный характер. Предлагаемый концептуальный аппарат позволяет также анализировать специфику технологического замещения и коэволюции в условиях динамично развивающихся рынков, включая российский, где сосуществование унаследованных и новых технологических решений приобретает особую значимость.

Ключевые слова: диффузия инноваций, конкуренция технологий, модель Лотки-Вольтерра, симбиотическая конкуренция, хищническая конкуренция, коэволюция технологий, стратегическое управление инновациями, инновации, многомодовое взаимодействие, технологическое замещение, управление технологическими переходами, российский инновационный контекст

Информация о финансировании: данное исследование выполнено без внешнего финансирования.

Для цитирования: Ерохин, В.В., & Павлютенкова, О.А. (2026). Конкуренция и диффузия инноваций: динамический аспект. *Экономика науки*, 12(1), 122–135. EDN: KJJBSF

**SCIENTIFIC AND TECHNICAL PROGRESS AND ITS IMPACT ON INDUSTRIES,
ECONOMIC GROWTH, AND INNOVATIVE DEVELOPMENT**

ORIGINAL RESEARCH ARTICLE
JEL: O33
EDN: KJJBSF

**Competition and the diffusion of innovations:
a dynamic perspective****V.V. Erokhin^{1,2}, O.A. Pavlyutenkova²**

¹ Moscow State Institute of International Relations (University) of the Ministry of Foreign Affairs, <https://ror.org/04zn7jb34>, Moscow, Russian Federation; e-mail: erohinvv@mail.ru

² Bauman Moscow State Technical University, <https://ror.org/00pb8h375>, Moscow, Russian Federation; e-mail: erohinvv@mail.ru, olgapavl@bmstu.ru

Abstract. The article criticizes established diffusion models (Fisher-Pry, Bass, etc.) that view technological substitution as a zero-sum game and ignore the possibility of technological co-evolution. In an environment where old and new technologies coexist for extended periods, a more flexible analytical tool is required, making this a relevant approach for studying the development of innovative technologies. The paper's objective is to propose a new, more nuanced model of innovation diffusion that challenges the paradigm of pure competition. The author introduces the concepts of "symbiotic" and "predator-prey" competition to describe the dynamics of coexistence between new and established technologies, based on the Lotka-Volterra model. This model facilitates the analysis of product generation evolution, fostering systemic strategic thinking that helps avoid excessive investment in declining businesses and identify new growth opportunities. The main conclusion of the research is that the proposed approach is particularly crucial for analyzing "breakthrough" innovations in the digital era, where product and market boundaries are blurred (e.g., the transition from physical media to streaming), and technological interaction is especially complex and dynamic. The proposed conceptual framework also allows for analyzing the specifics of technological substitution and coevolution in the context of dynamically developing markets, including the Russian market, where the coexistence of legacy and new technological solutions is of particular importance.

Keywords: diffusion of innovations, technology competition, Lotka-Volterra model, symbiotic competition, predatory competition, coevolution of technologies, strategic management of innovations, innovations, multimodal interaction, technological substitution, managing technological transitions, the Russian innovation context

Funding: This research received no external funding.

For citation: Erokhin, V.V., & Pavlyutenkova, O.A. (2026). Competition and the diffusion of innovations: a dynamic perspective. *Economics of Science*, 12(1), 122–135. EDN: KJJBFS

ВВЕДЕНИЕ

Диффузия инноваций – это процесс распространения новых продуктов, технологий, услуг или идей в социальной системе с течением времени. Понимание механизмов этого распространения критически важно, поскольку практическая значимость изобретений возникает лишь тогда, когда они преодолевают порог внедрения и получают массовое распространение.

Эверетт Роджерс (Rogers, 2015; Rogers, 2002) предложил рассматривать инновацию как процесс освоения ранее свободной рыночной ниши. Классической отправной точкой для анализа диффузии служит модель Эверетта Роджерса (Rogers, 2010; Rogers et al., 2019), согласно которой потребители делятся на группы по степени восприимчивости к новому: новаторы, ранние последователи, раннее большинство, позднее большинство и опоздавшие. Успех диффузии зависит от последовательного вовлечения этих групп, а типичная траектория описывается S-образной (логистической) кривой: медленный начальный рост, затем период быстрого распространения и насыщение рынка.

Вместе с тем применение классической модели к анализу прорывных технологических инноваций требует существенных оговорок. Модель Роджерса имплицитно предполагает, что инновация уже определена, её характеристики

понятны, а рыночная ниша идентифицируема. В условиях коэволюции технологий, симбиоза и размытых границ рынков эти предпосылки часто не выполняются. На этапе возникновения технологий рыночные ниши могут отсутствовать или одновременно формироваться в нескольких несвязанных областях, а сама инновация способна радикально меняться в процессе поиска «своего» рынка.

Более того, эмпирические исследования демонстрируют, что S-образная траектория далеко не универсальна. Реальный процесс диффузии технологических инноваций может характеризоваться существенными отклонениями: обрывами (резким прекращением диффузии вследствие появления технологии-субститута), экспоненциальными скачками (благодаря действию сетевых эффектов), циклами «бумов и спадов» (в результате корректировки завышенных ожиданий), а также мультимодальными траекториями, когда инновация переживает несколько волн роста.

Предпосылка о единой S-образной траектории является не столько законом, сколько частным случаем, описывающим успешное внедрение в стабильных условиях. Для анализа прорывных технологий в динамичной среде требуются более сложные модели, способные описывать динамику как до, так и в процессе формирования рыночных ниш. Эту задачу призвана решить предлагаемая в статье

модель на основе модифицированных уравнений Лотки-Вольтерра.

Дальнейшее развитие теория диффузии получила в работах Джона Нортон и Фрэнка Басса (Norton & Bass, 1987; Mahajan et al., 1993), которые формализовали процесс замещения продуктовых поколений. Их модель учитывает полный жизненный цикл и успешно описывает эстафетную передачу спроса, например, как в случае последовательных поколений микросхем памяти. Однако данная модель, будучи эффективной для анализа замещения продуктов внутри устоявшейся технологической парадигмы, сталкивается с ограничениями при анализе замещения самих технологий, характеризующегося изменением архитектурных принципов, возникновением новых рыночных ниш и длительным периодом сосуществования.

Параллельно развивалось эмпирическое направление, представленное работой Джона Фишера и Роберта Прая (Fisher & Pry, 1971). Исследователи обнаружили, что достижение новинкой порога в 3–5% рыночной доли делает её дальнейший рост высокопредсказуемым, что позволяло строить долгосрочные прогнозы полного цикла замещения на основе ранних данных.

Важным аспектом современного технологического развития, актуальным для применения предлагаемой модели, является анализ прорывных направлений, таких как искусственный интеллект. Как отмечает О.С. Сухарев (Сухарев, 2024; Сухарев, 2010), ИИ выступает не просто как отдельная технология, а как системный фактор, преобразующий производственные процессы, что приводит к формированию сложных, нелинейных траекторий его диффузии. Такой взгляд подтверждает необходимость перехода от моделей линейного замещения к инструментам, способным описывать многомодовые взаимодействия.

Каждый из рассмотренных подходов представляет собой определенное упрощение реальности. В реальной конкурентной борьбе участвует множество альтернатив, некоторые получают инвестиции, другие выбывают или занимают собственные ниши (Сухарев, 2020). Инновации могут выдвигаться как новыми

компаниями, так и игроками из смежных отраслей. Классический пример – гонка в компьютерной индустрии 1970-х гг. по замещению магнитной памяти на сердечниках (Utterback & Brown, 1972), где победителем стала полупроводниковая память на чипах, производившаяся компанией Intel наряду с другими компаниями. Сегодня аналогичную динамику мы наблюдаем в конкурентной борьбе между двигателем внутреннего сгорания и электромобилями, где участвуют гибриды, аккумуляторные и водородные модели.

Существующие модели, основанные на предпосылке чистой конкуренции и линейного замещения, оказываются недостаточны для анализа прорывных инноваций в цифровую эпоху, где границы рынков размыты, а взаимодействия носят сложный, коэволюционный характер.

Целью данного исследования является разработка новой, более детализированной модели диффузии инноваций, оспаривающей парадигму чистой конкуренции и позволяющей анализировать сложные динамические сценарии сосуществования, коэволюции и замещения технологических парадигм.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

1. Разработать качественную многомодовую схему классификации взаимодействий между конкурирующими инновациями, выходящую за рамки чистой конкуренции и включающую сценарии симбиоза и «хищнической» динамики.
2. Сформулировать формальную математическую модель на основе адаптации уравнений Лотки-Вольтерра, способную описывать динамику рыночных долей инноваций в рамках предложенной классификации, и провести анализ возможных сценариев её развития.

Методологической основой исследования служит подход, базирующийся на модификации модели межвидовой конкуренции Лотки-Вольтерра, что позволяет формализовать и анализировать многомодовые взаимодействия инноваций. В разделе «Методология исследования» представлена математическая модель, описывающая предложенную многомодовую

систему. В разделе «Описание результатов» на её основе моделируется динамика взаимодействия двух конкурирующих инноваций. Оригинальный вклад заключается в разработке программного обеспечения, созданного для моделирования многомодовых взаимодействий, позволяющего оценивать параметры уравнений и определять режим взаимодействия. В заключительном разделе рассматриваются стратегические приложения модели и намечаются направления для будущих исследований.

Методология исследования

Для построения более точной модели диффузии инновационных технологий необходимо отказаться от представления об инновациях как независимых и чисто конкурентных. Взаимодействие технологий разнообразно, и на начальном этапе рынки как нового, так и старого продукта могут расти одновременно. Если новый конкурент стимулирует рост спроса на устоявшийся продукт, такую модель, по аналогии с экологией, можно назвать симбиозом. Пример – механическое производство льда в XIX веке, которое не сократило, а утроило спрос на лед, одновременно расширив сферу применения холода для охлаждения продуктов питания.

На практике же продукты чаще сосуществуют по модели «хищник-жертва», где новый продукт выступает «хищником». Эта динамика представляет собой колебательное равновесие: чрезмерный успех «хищника» подрывает его собственную базу, а его ослабление позволяет «жертве» восстановиться. Так, естественный и машинный лёд долгое время делили рынок, пока электрическое охлаждение не вытеснило их в узкие ниши.

Формы конкуренции не статичны. Динамический процесс часто начинается с симбиоза, переходит в фазу взаимодействия по типу «хищник-жертва» и лишь затем – к чистой конкуренции с возможным вытеснением одной из технологий.

В инноватике и экономике термин «конкуренция» часто используется без точного определения. Взаимодействие технологий редко сводится к чистой конфронтации; оно может

иметь и неконкурентный характер. Предлагаемый многомодовый подход описывает это сложное взаимодействие в рамках единой модели.

Ключевое преимущество подхода – возможность анализировать не только три статических режима (чистая конкуренция, симбиоз, «хищник-жертва»), но и динамические переходы между ними с течением времени. Именно эта способность описывать эволюцию взаимодействия отличает нашу модель от классических экологических аналогов.

Взаимодействие двух технологий определяется их взаимным влиянием на рост: взаимное подавление (конкуренция), взаимное усиление (симбиоз) или асимметрия, где одна технология стимулирует рост другой, будучи сама ею подавляема («хищник-жертва»). Хотя эта типология заимствована из экологии, её применение к технологиям, особенно режиму «хищник-жертва», ранее почти не рассматривалось в литературе. Такая схема (таблица 1) в принципе масштабируема на любое количество технологий и охватывает четыре типа парных взаимодействий (с учётом двух вариантов «хищник-жертва»). Однако в разрабатываемой модели мы будем рассматривать три базовых режима.

В рамках модифицированной модели Лотки-Вольтерра влияние технологии B на темп роста технологии A (и наоборот) формализуется через знак и величину коэффициента взаимодействия (c_{ab} и c_{ba}) в системе уравнений (4). На основе знака этого коэффициента можно выделить три фундаментальных типа взаимного влияния:

- 1) Негативное влияние (конкуренция, антагонизм): Технология B снижает темп роста технологии A , «отбирая» у неё рыночные ресурсы, инвестиции или внимание потребителей. В уравнениях это соответствует положительному значению коэффициента взаимодействия (c_{ab} , $c_{ba} > 0$), что уменьшает фактическую скорость роста каждой технологии в зависимости от численности другой.
- 2) Позитивное влияние (симбиоз, синергия): Технология B увеличивает темп роста технологии A , создавая для неё новые рыночные возможности, развивая

инфраструктуру или повышая общую привлекательность технологического кластера. В уравнениях это соответствует отрицательному значению коэффициента взаимодействия ($c_{ab}, c_{ba} < 0$), что приводит к взаимному усилению роста.

- 3) Нейтральное влияние (нейтрализм): Технология B не оказывает прямого воздействия на темп роста технологии A , и наоборот. Их сосуществование возможно, но не приводит к взаимному ускорению или замедлению. В уравнениях это соответствует нулевому значению коэффициента взаимодействия ($c_{ab}, c_{ba} = 0$).

Комбинируя возможные типы влияния технологии A на B и B на A , мы получаем многомодовую схему классификации, представленную в таблице 1.

В таблице 1 представлена многомодовая схема классификации взаимодействий между двумя технологиями (A и B), основанная на типе их взаимного влияния на темпы роста. Схема оформлена в виде матрицы 2×2 , где по осям отложены качественные эффекты влияния одной технологии на рост другой:

- по горизонтали (строка заголовка) указан «Эффект технологии A на темп роста B », который может быть положительным (стимулирующим) или отрицательным (ингибирующим).
- по вертикали (первый столбец) указан «Эффект технологии B на темп роста A », также с вариантами положительного или отрицательного воздействия.

На пересечении этих эффектов в ячейках матрицы определены четыре возможных режима (мода) взаимодействия:

- 1) Симбиоз. Ячейка на пересечении «Положительный эффект B на A » и «Поло-

жительный эффект A на B ». Обе технологии взаимно стимулируют рост друг друга.

- 2) «Хищник (B) – Жертва (A)». Ячейка на пересечении «Отрицательный эффект B на A » и «Положительный эффект A на B ». Технология B («хищник») подавляет рост технологии A (жертвы), в то время как A стимулирует рост B .
- 3) «Хищник (A) – Жертва (B)». Ячейка на пересечении «Положительный эффект B на A » и «Отрицательный эффект A на B ». Технология A («хищник») подавляет рост технологии B («жертвы»), в то время как B стимулирует рост A .
- 4) Чистая конкуренция. Ячейка на пересечении «Отрицательный эффект B на A » и «Отрицательный эффект A на B ». Технологии взаимно подавляют темпы роста друг друга, находясь в антагонистическом противостоянии.

Данная схема систематизирует все возможные двусторонние взаимодействия в зависимости от знака взаимного влияния, формируя основу для многомодового аналитического подхода.

Теоретически, возможны дополнительные режимы взаимодействия при нулевом влиянии одной технологии на другую. Однако для целей нашего исследования мы рассматриваем эти случаи как частные и фокусируемся на трёх основных режимах: симбиоз, «Хищник (A) – Жертва (B)», «Хищник (B) – Жертва (A)».

Предлагаемая модель описывает динамику рыночной доли (или численности пользователей) продуктовых поколений или рыночных решений, воплощающих в себе различные базовые технологические принципы. Для краткости и в соответствии с традицией исследований

Таблица 1. Многомодовая схема классификации взаимодействий между двумя технологиями (A и B)

Table 1. Multimode classification scheme for interactions between two technologies (A and B)

Влияние фактора B на темпы роста фактора A	Влияние фактора A на темпы роста фактора B	
	Положительный результат	Отрицательный результат
Положительный результат	Симбиоз	«Хищник (A) – Жертва (B)»
Отрицательный результат	«Хищник (B) – Жертва (A)»	Чистая конкуренция

Источник: разработано авторами
Source: developed by the authors based

диффузии инноваций мы далее будем использовать обобщающий термин «конкурирующие инновации» (A и B). Однако важно подчеркнуть, что модель фокусируется на макроуровне, где «инновация A » представляет собой не отдельный продукт, а технологически обусловленное продуктовое семейство или парадигму (например, электромобили как инновация A и автомобили с ДВС как инновация B ; стриминг и физические носители). В этом контексте «темпы роста» относится к распространению данной продуктивно-технологической парадигмы на рынке, а коэффициенты взаимодействия (c_{ab} , c_{ba}) отражают фундаментальный тип связи между этими парадигмами (симбиоз, «хищничество», конкуренция), выявленный на этапе качественного анализа (таблица 1).

Обсуждение результатов: анализ динамики конкуренции инноваций на основе модифицированной модели Лотки-Вольтерра

Основу предлагаемой модели диффузии инноваций составляют уравнения Лотки-Вольтерра, адаптированные из экологии. Ключевое отличие данной модели от классических моделей замещения (например, Фишера-Прая (Fisher & Pry, 1971)) заключается в отказе от унарной парадигмы. Традиционные модели описывают рост одной технологии в статичной рыночной нише, что априори предполагает вытеснение старой технологии по принципу «нулевой суммы». Они не позволяют смоделировать самостоятельную конкурентную динамику и ответное влияние устоявшейся технологии, поскольку сводят её к пассивному «остатку рынка» в рамках одного уравнения.

Как отмечает Граблер (Grubler, 1991), дискуссии о моделях диффузии часто ограничены унарной (рост в вакууме) или бинарной (технология против остального рынка) перспективой. Однако реальная диффузия требует мультивариантного подхода, учитывающего одновременную конкуренцию нескольких растущих технологий.

Описание этого процесса требует системы связанных дифференциальных уравнений,

поскольку одно уравнение не может отразить взаимное влияние технологий друг на друга. Каждая технология должна быть представлена собственным уравнением, учитывающим её драйверы, ограничения и коэффициенты связи, отражающие характер её воздействия на темпы роста конкурентов. А значит, классические модели замещения, основанные на одном уравнении, для этой цели непригодны.

Математическим аппаратом, подходящим для решения этой задачи, служат уравнения Лотки-Вольтерра (Bhargava, 1989). Ряд исследований подтвердил успешность их применения для моделирования технологической диффузии. Как отмечал Маркетти (Marchetti, 1987), эти уравнения, описывающие экологические системы, эффективно моделируют и конкуренцию в социально-технологической сфере.

Важно подчеркнуть, что термин «уравнения Лотки-Вольтерра» часто используется обобщённо для описания как чистой конкуренции, так и модели «хищник-жертва». Однако математические формулировки для этих режимов различны (что определяется знаком коэффициента связи), что приводит к принципиально разной динамике.

Для понимания основ системы Лотки-Вольтерра целесообразно начать с базовой логистической модели роста. Соответствующее дифференциальное уравнение представляется в виде (Girifalco, 1991):

$$dA/dt = a \times A - b \times A^2. \quad (1)$$

Анализ физической интерпретации отдельных членов уравнения (1) позволяет лучше понять модифицированные уравнения Лотки-Вольтерра для многомодового взаимодействия. В реальных условиях рост часто лимитирован ограниченными ресурсами. В такой среде отдельные элементы популяции вступают в конкурентную борьбу за эти ресурсы. Данный тип взаимодействия моделируется членом A^2 , который отражает взаимное влияние элементов популяции друг на друга и оказывает негативный эффект на темпы роста. Чтобы учесть это ограничение, в уравнение (1) добавляется член “ $- b \times A^2$ ”.

Первый член уравнения $a \times A$ (1) описывает экспоненциальный рост, где скорость роста в любой момент времени пропорциональна текущему значению A . Чем больше величина A , тем выше темп её роста, что отражено в решении (2), где A_0 является константой, задающей начальное условие.

$$A(t) = A_0 \times \exp(a \times t). \quad (2)$$

Это уравнение приводит к классической S-образной кривой для $A(t)$.

В решении (2), напротив, подразумевается отсутствие ограничений по ресурсам, а значит, и конкуренции между членами популяции, что соответствует условию $b = 0$.

Решение (1) – это хорошо известная S-образная кривая:

$$A(t) = a \times [b + b \times \exp(a(t_0 - t))]^{-1}. \quad (3)$$

Верхний предел роста S-образной кривой определяется отношением a/b , а момент времени t_0 соответствует достижению «половины пути» – половины предельного значения.

В уравнениях Лотки-Вольтерра для экосистем исходная посылка системы Лотки-Вольтерра заключается в том, что каждая популяция («вид») описывается собственным уравнением, аналогичным (1), при условии отсутствия взаимодействия с другими видами.

При возникновении взаимодействия между двумя или более популяциями в каждое уравнение добавляется член, описывающий это влияние.

Рассмотрим экосистему, где A – популяция «хищников», а B – популяция «жертв». Динамика такой системы описывается следующей парой уравнений (Carroll, 1981):

$$\begin{aligned} dA/dt &= a_a \times A - b_a \times A^2 + c_{ab} \times A \times B; \\ dB/dt &= a_b \times B - b_b \times B^2 + c_{ba} \times B \times A, \end{aligned} \quad (4)$$

где $c_{ab} > 0$ и $c_{ba} < 0$.

Члены $A \times B$ и $B \times A$ описывают взаимодействие элементов двух разных видов. Их форма и функция аналогичны членам A^2 и B^2 в логистическом уравнении, но они представляют межвидовое, а не внутривидовое взаимодействие.

Уравнения (4) явно описывают модель «хищник-жертва». Поскольку коэффициент $c_{ab} > 0$, контакт особей усиливает рост популяции «хищников» (A). Напротив, коэффициент $c_{ba} < 0$ означает, что взаимодействие негативно влияет на рост популяции «жертв» (B).

В природных экосистемах знаки этих коэффициентов постоянны. Однако в случае технологий режим взаимодействия и роли «хищника» и «жертвы» могут меняться со временем.

Здесь также предполагаем, что коэффициенты (a , b , c) постоянны, хотя для технологий они могут быть переменными. К этому вопросу вернёмся позднее.

Уравнения модели «хищник-жертва» (4) могут быть модифицированы для описания многомодовой системы, включающей чистую конкуренцию, симбиоз и взаимодействие «хищник-жертва».

Ключевая модификация заключается в том, что знаки коэффициентов связи (c) могут изменяться, а сами коэффициенты могут быть зависимыми от времени, а не константами, где различие между режимами взаимодействия определяется знаками коэффициентов связи (c). Случаи, когда $c = 0$, также могут рассматриваться как отдельные режимы.

Представим классификацию режимов взаимодействия двух технологий (A и B) в рамках модифицированной системы уравнений Лотки-Вольтерра. Классификация основана на знаках коэффициентов связи c_{ab} (влияние A на темп роста B) и c_{ba} (влияние B на темп роста A).

Определены четыре возможных режима:

- 1) Симбиоз, то есть обе технологии взаимно стимулируют рост друг друга. Режим определяется при $c_{ab} > 0$ и $c_{ba} > 0$.
- 2) «Хищник (A) – Жертва (B)», то есть технология A («хищник») подавляет рост технологии B («жертвы»), в то время как B стимулирует рост A . Режим определяется при $c_{ab} > 0$ и $c_{ba} < 0$.
- 3) «Хищник (B) – Жертва (A)», то есть технология B («хищник») подавляет рост технологии A («жертвы»), в то время как A стимулирует рост B . Режим определяется при $c_{ab} < 0$ и $c_{ba} > 0$.
- 4) Чистая конкуренция, то есть технологии взаимно подавляют темпы роста друг

друга, находясь в антагонистическом противостоянии. Режим определяется при $c_{ab} < 0$ и $c_{ba} < 0$.

Знаки пары коэффициентов (c_{ab} , c_{ba}) однозначно определяют тип динамического взаимодействия между двумя технологиями в предложенной модели.

Если перед коэффициентами всегда ставится знак '+', а сами коэффициенты c_{ab} и c_{ba} могут принимать как положительные, так и отрицательные значения, то программное обеспечение может одновременно оценивать как величину коэффициентов (интенсивность взаимодействия), так и их знак (режим взаимодействия). Это мощная концепция, позволяющая по набору данных автоматически определять характер и силу взаимного влияния технологий. Хотя уравнения Лотки-Вольтерра (особенно для чистой конкуренции) не имеют явного аналитического решения, они могут быть решены численно. Для этого можно применить разностную формулировку для случая чистой конкуренции, а затем, изменяя знаки перед с-коэффициентами, обобщить это решение для всех режимов взаимодействия.

Для наглядности используется исходное соглашение: коэффициенты $c > 0$, а режим взаимодействия явно задаётся знаком "+" или "-" перед ними.

Модифицированное решение для двух технологий в режиме «хищник (A) – жертва (B)» принимает следующий вид:

$$A(t+1) = A(t) \times \exp(a_a) \times [1 + A(t) \times b_a (\exp(a_a) - 1) \times a_a^{-1} - c_{ab} \times b_a^{-1} \times B(t) \times b_a (\exp(a_a) - 1) \times a_a^{-1}]^{-1};$$

$$B(t+1) = B(t) \times \exp(a_b) \times [1 + B(t) \times b_b (\exp(a_b) - 1) \times a_b^{-1} + c_{ba} \times b_b^{-1} \times A(t) \times b_b (\exp(a_b) - 1) \times a_b^{-1}]^{-1}. \quad (5)$$

На примере рынка композитных материалов в металлургической отрасли видна эволюция конкурентных режимов. Следующие композитные материалы, достигшие пика после Второй мировой войны, к 1980-м гг. столкнулись с кризисом сырьевой базы:

1. Броневые стали и комбинированная броня: гетерогенная броня – многослойные комбинации сталей разной твердости (например, поверхностно-упрочнённый слой с добавлением вязкой подложки); цементированная

броня – поверхностное насыщение стали углеродом для повышения твёрдости внешнего слоя; комбинированные конструкции – использование дополнительных экранов (например, сетчатые экраны из стальных прутьев на лёгкой технике для защиты от кумулятивных снарядов).

2. Стали с легирующими добавками (эконом-легирование). В условиях дефицита легирующих элементов (никель, хром, молибден) разрабатывались заменители и низколегированные композиции: использование марганца, кремния, алюминия в сочетании с термообработкой; использование стали 8С для противотанковых пушек (сочетание прочности и технологичности).
3. Биметаллы (слоистые композиты), то есть изготовление биметаллических стволов артиллерийских орудий, где внутренний слой состоит из износостойкой стали, внешний – из более дешёвой конструкционной стали (экономия высоколегированных материалов). Также использовались сварные комбинации – например, соединение броневых листов разных марок.
4. Металлокерамические композиты (твёрдые сплавы). Использовался материал Победит – сплав карбида вольфрама с кобальтом. Он использовался для режущих инструментов в металлообработке, броневой сердечков снарядов, керамико-металлических покрытий (повышения износостойкости деталей двигателей и гусениц).
5. Композитные сварочные материалы. Применялась порошковая проволока для сварки брони и ремонта техники в полевых условиях, комбинированные электроды с покрытиями, улучшающими свойства швов.

В качестве источников вышеприведенных данных использованы материалы ЦНИИЧермета и ВИАМ, документация металлургических заводов Урала и Сибири, а также научные труды и отчёты И.П. Бардина (металлургическое производство), А.А. Бочвара (легирование и термообработка) и Е.О. Патона (сварка и биметаллы).

Эволюция конкурентных режимов открыла путь новым композитам, которые стали применяться в различных формах, таким как:

1. Полимерные композиционные материалы (ПКМ) на основе эпоксидных и фенольных смол с армирующими наполнителями (стекловолокно, углеродное волокно). Они начали активно внедряться в аэрокосмической и оборонной промышленности с 1970–80-х гг. XX ст., а к 1990-м гг. стали критически важными для снижения веса летательных аппаратов (например, в самолётах Су и МиГ).
2. Металлические композиционные материалы (МКМ) с керамическими или интерметаллическими упрочнителями (например, алюминий – оксид алюминия, титан – бор). Они разрабатывались для высокотемпературных применений в двигателестроении.
3. Материалы, созданные методами порошковой металлургии, позволяющие получать композиты с контролируемой структурой (например, быстрорежущие стали с карбидами, твёрдые сплавы для инструмента).
4. Биметаллы и многослойные материалы, получаемые методами диффузионной сварки (например, сталь – алюминий в авиации) или напыления покрытий для создания износостойких и жаростойких поверхностей (например, лопатки турбин, режущий инструмент).
5. Композиты специального назначения, включая:
 - углепластики для спортивного инвентаря и медицинских протезов (в ограниченных масштабах);
 - стеклопластики для массового производства в строительстве и транспорте (вагоны, суда);
 - наноструктурированные материалы (например, наноструктурированный карбид вольфрама для инструмента).
6. Многослойные комбинированные броневые материалы, пришедшие на смену монолитной стальной броне. Конструкции типа «керамика – полимер – сталь» применяются в индивидуальной защите (бронежилеты) и лёгкой бронетехнике, включая алюминиевые и титановые сплавы с керамическими включениями. Итогом изменений, обусловленных эволюцией конкурентных режимов, к 1990-м гг. стали:
 - технологический прорыв в теории композитов, включая математическое моде-

лирование и появление новых классов материалов;

- смена парадигмы: переход от «монокристаллических металлов» к гибридным материалам, сочетающим металлы, полимеры и керамику;
- создание основ для будущего роста, когда в 2000-х гг. композиты стали ключевыми для авиации (МС-21, Су-57), космических отраслей и высокотехнологичных производств.

Анализ данных показывает, что волатильность рынка в основном затрагивала стали с легирующими добавками, в то время как продажи композитов устойчиво росли. Это указывает на динамику взаимодействия: начальная фаза симбиоза (параллельный рост) сменилась режимом «хищник-жертва», где ПКМ и МПК («хищник») подавляет рост стали с легирующими добавками («жертвы»), с потенциальным переходом к чистой конкуренции.

Упорство в инвестициях в устаревающую технологию, вопреки экономической логике, часто объясняется инерцией мышления, воспринимающего конкуренцию как игру с нулевой суммой. Однако реальный процесс – это динамическая смена режимов, где новые технологии не просто замещают старые, а могут временно стимулировать их рост, прежде чем начать вытеснение.

Новый анализ данных за шесть десятилетий (1964–2024 гг.) наглядно демонстрирует динамику смены режимов взаимодействия между сталями с легирующими добавками и ПКМ, МПК: от симбиоза (до 1983 г.) к отношениям «хищник-жертва» (до 1999 г.) и, наконец, к чистой конкуренции, что подтверждает исходную гипотезу.

Проведенный анализ динамики взаимодействия сталей с легирующими добавками, полимерных композиционных материалов (ПКМ) и металлополимерных композитов (МПК) позволяет сформулировать следующие основные выводы:

1. Динамика коэффициентов взаимодействия менялась со временем, что выражалось в изменении знака и величины коэффициентов связи (параметров, отражающих влияние рыночной ниши одной технологии

на темп роста другой). Ранний период (1960–1970-е гг.) характеризовался сильным взаимовлиянием технологий, которое постепенно ослабевало в последующие десятилетия по мере формирования устойчивых рыночных ниш.

2. Смена режимов взаимодействия подтверждена эмпирическими данными: эволюция режимов от симбиоза к конкуренции и обратно является не теоретическим постулатом, а наблюдаемым фактом. Многие существующие модели ошибочно постулируют постоянство коэффициентов взаимодействия, тогда как их изменчивость имеет критическое значение для понимания инновационной динамики и выработки адекватных стратегий.
3. Влияние внешних и внутренних факторов на смену режимов проявлялось двояко: с одной стороны, внешние шоки (экономические циклы, изменение промышленных стандартов, дефицит сырья) инициировали переходы между режимами; с другой – внутренняя динамика самой технологической системы (скачкообразное расширение производственных мощностей, появление новых рыночных ниш) также выступала драйвером изменений. Например, падение спроса в строительной отрасли часто сдвигало режим от симбиоза к модели «хищник – жертва» (где ПКМ и МПК выступали в роли хищника по отношению к традиционным сталям), тогда как рост спроса, напротив, возвращал систему в состояние симбиотического сосуществования.
4. Методологический прорыв предлагаемого подхода заключается в том, что компьютерное моделирование на основе модифицированных уравнений Лотки-Вольтерра позволило впервые не только количественно оценить величину коэффициентов взаимодействия, но и определить их знак в динамике. Это, в свою очередь, даёт возможность непосредственно устанавливать природу взаимодействия технологий (симбиоз, чистая конкуренция, режим «хищник – жертва») в каждый конкретный момент времени, что недоступно для классических моделей диффузии.

Кейс «стали с легирующими добавками и ПКМ, МПК» позволяет убедительно продемонстрировать, что конкурентное взаимодействие технологий является принципиально динамическим процессом, а не статичным противостоянием. Это создает основу для более точного моделирования сценариев и разработки стратегий в условиях технологических изменений.

Анализ выявил закономерную последовательность смены конкурентных режимов между технологиями: начальный симбиоз сменяется фазой «хищник-жертва», которая затем переходит в чистую конкуренцию. Примечательно, что в данном случае роль «хищника» всегда принадлежала новой технологии – ПКМ, МПК.

По результатам анализа динамики взаимодействия сталей с легирующими добавками, полимерных композиционных материалов (ПКМ) и металлополимерных композитов (МПК) можно заключить:

1. Начало диффузии. Новый продукт (ПКМ, МПК) первоначально выходит на рынок в симбиозе со сталями с легирующими добавками, взаимно стимулируя рост.
2. Ослабление симбиоза. Сила симбиотического эффекта ослабевает со временем (1964–1983 гг.).
3. Переходная фаза. Взаимодействие становится преимущественно «хищник-жертва» (ПКМ, МПК – «хищник»), хотя периодически возвращается к слабому симбиозу (1990–2011 гг.), когда влияние ПКМ, МПК на стали с легирующими добавками близко к нулю.
4. Финальная стадия. Доминирующим режимом становится чистая конкуренция, сила которой со временем нарастает, возможно, под влиянием внешних факторов.

Инновация (композитные изделия), сняв ограничения по сырью (лирированная сталь), не просто заместила старый продукт, а катализировала обновление металлургического производства, расширив сферу применения современных композитных материалов.

Проведенный анализ динамики взаимодействия материаловедческих инноваций позволяет сформулировать следующие практические рекомендации для менеджмента и промышленной политики:

1. Динамичность требует гибкости. Поскольку взаимодействие технологий носит многомерный характер (симбиоз, «хищник – жертва», чистая конкуренция) и эволюционирует во времени, стратегия должна быть адаптивной. Применение единой «постоянной» стратегии к разным режимам взаимодействия ведет к субоптимальным или катастрофическим результатам.
 2. Ранние сигналы для менеджмента. Внезапный рост зрелого продукта на фоне появления новой технологии может быть не поводом для оптимизма, а предвестником смены режима с симбиоза на «хищника – жертву». Игнорирование этой динамики – распространенная стратегическая ошибка, ведущая к упущенным возможностям или запоздалой реакции.
 3. Источники угроз и сопротивления. Наиболее серьезные вызовы для устоявшихся технологий часто исходят от новых игроков и неожиданных отраслей, а не от традиционных конкурентов. Сопротивление инновациям со стороны менеджмента естественно, особенно если отсутствует ясный путь адаптации, и часто приводит к политической защите статус-кво вместо поиска новых решений.
 4. Различия в восприятии конкурентной динамики. Новые участники рынка склонны воспринимать конкуренцию как возможность для симбиоза, захватывая свободные ниши и создавая новые применения. Менеджмент устоявшихся предприятий и государственных институтов, напротив, часто застревает в парадигме «хищника – жертвы» или игры с нулевой суммой, что ведет к чрезмерным инвестициям в гибридные или заведомо устаревающие решения.
- разработка практических диагностических инструментов для менеджеров по раннему распознаванию текущего режима взаимодействия;
 - анализ стратегий, оптимальных для каждой фазы (симбиоз, «хищник-жертва», конкуренция);
 - исследование когнитивных и организационных барьеров, мешающих фирмам адекватно реагировать на динамику технологического взаимодействия.

Ключевая проблема, выявляемая в ходе анализа диффузии инноваций, заключается в том, что новые, так называемые «прорывные» инновации часто сначала улучшают положение устоявшейся практики, подкрепляя консервативные аргументы об отсутствии угрозы. Наши исследования показывают типичную траекторию: взаимодействие начинается с симбиоза, переходит через фазу «хищник-жертва» и лишь затем приходит к чистой конкуренции.

Новая практика обычно зарождается в незанятых или недоступных для менеджмента рыночных нишах. Зрелый продукт может продолжить рост, а новая технология – захватывать премиальные сегменты. Этот паттерн подтверждается историческими примерами:

1. Появление машинного производства льда (1860-е гг.) резко увеличило спрос на природный лёд, сделав охлаждение доступным круглогодично и создав симбиоз. Лишь позже началось прямое замещение.
 2. Изобретение транзистора (1947 г.) не привело к немедленной смерти вакуумных ламп – их продажи росли ещё 15 лет. Технологии сосуществовали, порождая гибридные продукты (телевизоры с «мгновенным» включением). Даже сегодня лампы сохраняются в нишевых применениях, превратившись из товара в ценный реликт.
 3. Замещение керосина газовым освещением открыло для керосина новый крупный рынок – моторное топливо. А вытеснение газа электрическим светом стимулировало его использование для отопления и приготовления пищи.
- «Смерть» старой технологии при замене не является неизбежной – она часто

Обсуждение направлений для дальнейших исследований

Предложенная модель имеет практическую значимость для инновационной стратегии, предоставляя инструмент как для разработчиков новых, так и для защитников зрелых технологий.

Направления для будущих исследований:

- детальное изучение триггеров и закономерностей смены режимов;

трансформируется, находя новые, иногда более ценные, ниши.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Истоки многих ошибочных прогнозов скрыты в допущении, что любая конкурентная гонка является игрой с нулевой суммой. Однако на практике ситуация иная: взаимодействие технологий часто начинается с симбиоза. Так, ранние предложения о композитных материалах отвергались, пока не было осознано, что их траектория развития повторяет путь легированных сталей, а низкий барьер для эксперимента позволяет быстро достигать превосходства по ключевым параметрам.

Проведенное исследование демонстрирует, что взаимодействие технологий динамично и эволюционирует – от симбиоза через «хищническую» конкуренцию к чистой конкуренции. Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Разработана модель диффузии технологий, описывающая не только прямую конкуренцию, но и альтернативные режимы взаимодействия: динамику «хищник – жертва» и состояние симбиоза.
2. Модель применима для анализа диффузии в условиях множественных технологий, а не только упрощённого противостояния одного нового и одного устоявшегося продукта.
3. Отказ от обязательного предположения о чистой конкуренции позволяет рассчитывать смену режимов взаимодействия технологий в динамике, год за годом.
4. Модель не требует априорной оценки общего размера рынка, что даёт возможность рассчитывать динамику рыночного проникновения по мере её развития.
5. Учёт влияния предшествующего развития обеспечивает различные результаты в зависимости от начальных условий конкуренции.

Полученные сценарии смены режимов взаимодействия содержательно соотносятся с теорией технологических укладов (Глазьев, 1993; Глазьев, 2010): фаза симбиоза соответствует зарождению нового уклада, «хищническая» конкуренция – его масштабному развёртыванию, а чистая конкуренция – фазе зрелости доминирующего уклада.

Предложенная модель может служить инструментом для микроуровневого анализа динамики на стыке макротехнологических волн, помогая идентифицировать точки бифуркации, когда взаимодействие технологий меняет свой характер, что сигнализирует о потенциальной смене доминирующего технологического режима. Это открывает возможности для более точного стратегического позиционирования в периоды великих технологических переходов, теоретически описанных в работах С.Ю. Глазьева (Глазьев, 1993; Глазьев, 2010; Глазьев и др., 2019).

Предложенная модель, однако, имеет ряд ограничений: высокий уровень абстракции, сложность эмпирической калибровки коэффициентов, предпосылка закрытой системе и ограниченность прямых управленческих рекомендаций. Тем не менее, её ценность заключается в систематизации мышления и качественном анализе сценариев, позволяя классифицировать тип конкурентной ситуации и заблаговременно идентифицировать риски или возможности.

Перспективные направления дальнейших исследований включают: моделирование с динамическими коэффициентами, разработку новых метрик для случаев перехода от продукта к услуге, определение границ продукта в условиях их размывания, а также верификацию модели на исторических кейсах и расширение на три и более взаимодействующих агента.

Вклад участников научного исследования

Ерохин, В.В.: Административное руководство исследованием, Проведение исследования, Написание черновика рукописи, Написание рукописи – рецензирование и редактирование.

Павлютенкова, О.А.: Проведение исследования, Визуализация.

Contributions

Erokhin, V.V.: Administrative management of the research project, Investigation, Original Draft Preparation, Writing the manuscript – reviewing and editing.

Pavlyutenkova, O.A.: Investigation, Visualization.

Конкурирующие интересы

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Competing Interests

The authors declare no conflict of interest.

Список источников/References

1. Глазьев, С.Ю. (2010). *Стратегия опережающего развития России в условиях глобального кризиса*. Экономика. EDN: QUGVQF
Glazyev, S.Yu. (2010). *Strategy for Russian growth in the context of the global economic crisis*. Ekonomika. EDN: QUGVQF (in Russian)
2. Глазьев, С.Ю. (1993). *Теория долгосрочного технико-экономического развития*. ВладДар. EDN: YSXIUV
Glazyev, S.Yu. (1993). *Theory of long-term technical and economic development*. VlaDar. EDN: YSXIUV (in Russian)
3. Глазьев, С.Ю., Айвазов, А.Э., & Беликов, В.А. (2019). Циклически-волновые теории экономического развития и перспективы мировой экономики. Предсказуемо ли среднесрочное и долгосрочное развитие мировой экономики. *Научные труды Вольного экономического общества России*, 219(5), 177–211. EDN: XWMZDH
Glazyev, S.Yu., Aivazov, A.E., & Belikov, V.A. (2019). Cyclic wave theories of economic development and the outlook for the global economy: is global growth predictable in the medium and long term? *The Proceedings of the Free Economic Society of Russia*, 219 (5), 177–211. EDN: XWMZDH (in Russian)
4. Сухарев, О.С. (2010). Иерархические структуры и инновационное развитие. *Экономический анализ: теория и практика*, 37(202), 2–14. EDN: MVUITT
Sukharev, O.S. (2010). Hierarchical structures and innovative development. *Economic Analysis: Theory and Practice*, 37(202), 2–14. EDN: MVUITT (in Russian)
5. Сухарев, О.С. (2024). Технологическое развитие: перспективы искусственного интеллекта. *Эргодизайн*, 4(26), 424–434. EDN: GQFVHE, <https://doi.org/10.30987/2658-4026-2024-4-424-434>
Sukharev, O.S. (2024). Technological development: the prospects of artificial intelligence. *Ergodesign*, 4(26), 424–434. EDN: GQFVHE (in Russian) <https://doi.org/10.30987/2658-4026-2024-4-424-434>
6. Сухарев, О.С. (2020). Эффективность наукоемких фирм и формирование инновационной динамики. *Федерализм*, 1(97), 44–65. EDN: JKZPML, <https://doi.org/10.21686/2073-1051-2020-1-44-65>
Sukharev, O.S. (2020). Efficiency of scientific companies and formation of innovative dynamics. *Federalism*, 1(97), 44–65. EDN: JKZPML (in Russian) <https://doi.org/10.21686/2073-1051-2020-1-44-65>
7. Bhargava, S.C. (1989). Generalized Lotka-Volterra equations and the mechanism of technological substitution. *Technological Forecasting and Social Change*, 35(4), 319–326. [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(89\)90068-1](https://doi.org/10.1016/0040-1625(89)90068-1)
8. Carroll, G.R. (1981). Dynamics of organizational expansion in national systems of education. *American Sociological Review*, 46(5), 585–599. <https://doi.org/10.2307/2094940>
9. Fisher, J.C., & Pry, R.H. (1971). A simple substitution model of technological change. *Technological Forecasting and Social Change*, 3, 75–88. [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(71\)80005-7](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(71)80005-7)
10. Girifalco, L.A. (1991). *Dynamics of technological change*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4684-6509-9>
11. Grubler, A. (1991). Diffusion: long-term patterns and discontinuities. *Technological Forecasting and Social Change*, 39(1–2), 159–180. [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(91\)90034-D](https://doi.org/10.1016/0040-1625(91)90034-D)
12. Mahajan, V., Muller, E., & Bass, F.M. (1993). *New-product diffusion models*. In *Handbooks in Operations research and management science* (Vol. 5, pp. 349–408). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0927-0507\(05\)80031-3](https://doi.org/10.1016/S0927-0507(05)80031-3)
13. Marchetti, C. (1987). Infrastructures for movement. *Technological Forecasting and Social Change*, 32(4). [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(87\)90053-9](https://doi.org/10.1016/0040-1625(87)90053-9)
14. Norton, J.A., & Bass, F.M. (1987). A diffusion theory model of adoption and substitution for successive generations of high-technology products. *Management Science*, 33(9), 1069–1086. <http://www.jstor.org/stable/2631875>
15. Rogers, E.M. (2002). Diffusion of preventive innovations. *Addictive Behaviors*, 27(6), 989–993. [https://doi.org/10.1016/S0306-4603\(02\)00300-3](https://doi.org/10.1016/S0306-4603(02)00300-3)
16. Rogers, E.M. (2010). *Diffusion of Innovations (4th ed.)*. Simon and Schuster.
17. Rogers, E.M. (2015). *Evolution: diffusion of innovations*. In *International encyclopedia of the social & behavioral sciences* (2nd ed., pp. 378–381). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.81064-8>

18. Rogers, E.M., Singhal, A., & Quinlan, M. (2019). *Diffusion of innovations. In an integrated approach to communication theory and research* (pp. 182–186). Lawrence Erlbaum Associates. EDN: GRFQHN, <https://doi.org/10.4324/9780203710753-35>
19. Utterback, J.M., & Brown, J.W. (1972). Profiles of the future monitoring for technological opportunities. *Business Horizons*, 15(5), 5–15. [https://doi.org/10.1016/0007-6813\(72\)90042-0](https://doi.org/10.1016/0007-6813(72)90042-0)

Информация об авторах

Ерохин Виктор Викторович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры “Математические методы и бизнес-информатика” Московского государственного института (университет) международных отношений Министерства иностранных дел Российской Федерации, профессор кафедры “Инновационное предпринимательство” Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана; SPIN-код РИНЦ 8268–7382, Scopus Author ID: 57195330507, ORCID: 0000-0002-8754-0012 (Российская Федерация, 119454, Москва, проспект Вернадского, дом 76; erohinvv@mail.ru).

Павлютенкова Ольга Алексеевна – кандидат психологических наук, доцент, доцент кафедры “Инновационное предпринимательство” Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана; SPIN-код РИНЦ 3499–1721 (Российская Федерация, 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д.5, стр. 1; olgapavl@bmstu.ru).

Authors

Viktor V. Erokhin – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Mathematical Methods and Business Informatics of the Moscow State Institute (University) of International Relations of the Ministry of Foreign Affairs of the Russian Federation, Professor of the Department of Innovative Entrepreneurship of Bauman Moscow State Technical University; Scopus Author ID: 57195330507, ORCID: 0000-0002-8754-0012 (76, Vernadskogo pr., Moscow, 119454, Russian Federation; erohinvv@mail.ru).

Olga A. Pavlyutenkova – Candidate of Psychological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Innovative Entrepreneurship of Bauman Moscow State Technical University (5/12nd Baumanskaya Street, Moscow, 105005, Russian Federation; olgapavl@bmstu.ru).

Поступила в редакцию (Received) 20.12.2025

Поступила после рецензирования (Revised) 10.02.2026

Принята к публикации (Accepted) 26.02.2026