

УДК 330.01 336.01

DOI: 10.17586/2310-1172-2026-19-1-17-27

Научная статья

Язык статьи – русский

Моделирование экосистемы финансово-алгоритмических институтов зеленого финансирования

Д-р экон. наук **Ключников И.К.** igorkl@list.ru

Канд. экон. наук **Ключников О.И.** Okey003@mail.ru

Международный банковский институт им. Анатолия Собчака

Россия, Санкт-Петербург

Д-р экон. наук **Молчанова О.А.** oamolchanova@list.ru

Санкт-Петербургский государственный экономический университет

Россия, Санкт-Петербург

В данной статье рассматриваются финансово-алгоритмические системы, встроенные в финансовые и нефинансовые онлайн-сети, как новые финансовые институты для зелёного финансирования и экологической экономической реформы. Определяется роль финансово-алгоритмических институтов в интеграции сетей и использовании их потенциала для мобилизации инвестиций и технологических ресурсов для зелёной экономической реструктуризации, а также для формирования экосистемы института алгоритмического финансирования зеленой экономики. Анализируются различные научные подходы к анализу финансово-алгоритмических институтов. Предлагается модель алгоритмического финансового посредника в сетевом пространстве, а также модель участия алгоритмических финансовых институтов в создании зелёной экономики. Моделируется влияние алгоритмических финансовых институтов и зелёные финансовые потоки, внедрение новых технологий и экономические преобразования.

Ключевые слова: финансовые алгоритмы, алгоритмические институты, финансовое моделирование, сетевой анализ, экосистемы.

Ссылка для цитирования:

Ключников И.К., Ключников О.И., Молчанова О.А. Моделирование экосистемы финансово-алгоритмических институтов зеленого финансирования // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент». 2026. № 1. С. 17-27. DOI: 10.17586/2310-1172-2026-19-1-17-27.

Scientific article

Article in Russian

Modeling the ecosystem of financial and algorithmic institutions of green finance

D.Sc. **Klioutchnikov I.K.** igorkl@list.ru,

Ph.D. **Kliuchnikov. O.I.** Okey003@mail.ru,

International Banking Institute named after Anatoliy Sobchak

Russia, St. Petersburg

D.Sc. **Molchanova O.A.** oamolchanova@list.ru,

St. Petersburg State University of Economics

Russia, St. Petersburg

This article examines algorithmic financial systems embedded in financial and non-financial online networks as new financial institutions for green finance and green economic reform. It identifies the role of algorithmic financial institutions in integrating networks and leveraging their potential to mobilize investment and technological resources for green economic restructuring, as well as for the formation of an ecosystem for the institute of algorithmic financing of the green economy. Various scientific approaches to analyzing algorithmic financial institutions are analyzed. A model of an algorithmic financial intermediary in the network space is proposed, as well as a model for the participation of

algorithmic financial institutions in creating a green economy. The impact of algorithmic financial institutions on green financial flows, the introduction of new technologies and economic transformations is modeled.

Keywords: financial algorithms, algorithmic institutions, financial modeling, network analysis, ecosystems.

For citation:

Kliuchnikov I.K., Kliuchnikov. O.I., Molchanova O.A. Modeling the ecosystem of financial and algorithmic institutions of green finance. *Scientific journal NRU ITMO. Series «Economics and Environmental Management»*. 2026. № 1. P. 17-27. DOI: 10.17586/2310-1172-2026-19-1-17-27.

Введение

Финансово-алгоритмические институты – это новое явление, связанное с институционализацией алгоритмов, интегрированных в финансовые и нефинансовые сети посредством различных финансовых приложений. Обладая значительным потенциалом, эти новые институты оказывают влияние на финансовое обслуживание и активизируют трансформационные процессы в обществе. Особый интерес представляет анализ их места и роли в экологизации экономики, зеленом переходе и развитии зеленых финансов.

Финансово-алгоритмические институты (ФАИ) участвуют в оптимизации рынка, управлении рисками и адаптации финансирования к меняющимся условиям и, тем самым, могут оказывать воздействие на зеленое, климатическое и социальное финансирование. Оптимизируя распределение ресурсов и организуя перелив капитала между традиционными и экологически чистыми производствами ФАИ участвуют в экологически сознательной финансовой практике и вносят существенный вклад в достижение целей устойчивого развития (ЦУР).

Для комплексного исследования ФАИ необходим междисциплинарный подход, объединяющий финансы, экономику, социологию, психологию и компьютерные науки. Каждое научное направление исследует новые институты со своих позиций. Варианты исследования ФАИ варьируются в зависимости от теоретической парадигмы.

С точки зрения финансовой теории, особенно в контексте устойчивого финансирования и реализации ЦУР, анализ траектории развития финансовых алгоритмических институтов (ФАИ) может быть направлен на повышение их роли в инициативах экономического реформирования. Финансовая и экологическая направленность этого исследования позволяет сосредоточиться на участии ФАИ в содействии экологической реконфигурации экономики и путей их влияния на «зеленый» переход. Использование сетевого анализа облегчает определение роли финансовых и алгоритмических институтов в использовании возможностей финансовых и нефинансовых сетей в ходе этого трансформационного процесса, а также позволяет рассматривать формирование экосистемы института алгоритмического финансирования зеленой экономики.

Финансово-алгоритмические институты выступают связывающим звеном между участниками рынка. У них различные уровни автоматизации и аналитики. Корпорации используют мощные алгоритмические системы, сфокусированные на скорости и масштабах, частные инвесторы и население заинтересованы в доступности, простоте и экономичности обслуживания. Однако все подходы требуют баланса между инновациями и регулированием для поддержания стабильности рынка.

Сравнение подходов объясняющих воздействие финансовых алгоритмических институтов на финансовый рынок, зеленое финансирование, экологизацию экономики и технологическую перестройку с позиций различных экономических теорий и концепций позволяет выявить их ключевые особенности и ограничения.

Сетевая теория рассматривает финансовые рынки как сложные сети взаимодействий между институтами и участниками. ФАИ в этом подходе выступают как узлы сети, связывающие различные части рынка и обеспечивающие его функционирование. Анализ сетевых структур позволяет оценить влияние ФАИ как на стабильность и эффективность рынка, так и его перестройку в зеленом направлении.

Институциональные, эволюционные и сетевые аспекты изучения ФАИ

С точки зрения институциональной экономики возникновение и развитие алгоритмических финансовых институтов можно рассматривать как создание «скелета» новых рыночных структур. На данном этапе важно понять, как этот скелет адаптируется к задачам обеспечения экологически безопасного экономического развития и построения «зелёной» экономики. Использование искусственного интеллекта (ИИ) в алгоритмических системах существенно расширяет возможности новых институтов [1] [2].

Институциональный подход позволяет рассматривать участие ФАИ в реконфигурации правил игры, легитимации новых взаимодействий (например, в системе децентрализованных финансов (DeFi)) и создании условий для более эффективной интеграции новых видов капитала (включая природный и социальный) в рыночный оборот. Новая институциональная структура также взаимодействует с уже получившими развитие финансовыми

технологическими процессами, связанными с новыми финансовыми инструментами, процессами, торговыми операциями и методами обслуживания, в том числе и в зеленой сфере.

Институциональные рамки позволяют алгоритмам усиливать свое воздействие на рынок и его участников, а также повышать эффективность рыночных взаимодействий не только за счет ускорения, упрощения и расширения коммуникационных процессов, но и создания системы доверия, которое возрастает в ходе институционализации алгоритмов.

Интеграция принципов институциональной экономики в архитектуру алгоритмов (например, включение этических, социальных и экологических ограничений в алгоритмические системы) улучшает взаимодействие в системе «человек-машина» и помогает алгоритмам учитывать текущие и стратегические общечеловеческие цели. Более того, интеграция может способствовать развитию гибридных институтов, таких как государственно-частные платформы для обмена финансовыми данными, учитывающие экологические и социальные аспекты.

В целом, алгоритмические финансовые институты способствуют формированию и поддержанию связей между участниками рынка, обеспечивают ликвидность и снижают транзакционные издержки за счет сетевых эффектов, а также способствуют управлению рисками посредством анализа топологии сетевого взаимодействия. Каждый подход предлагает уникальный взгляд на проблему и позволяет раскрыть теоретическое и практически назначение ФАИ (см. табл.). Сочетание этих подходов может обеспечить более полное понимание процессов экологизации и технологической трансформации, а также роли ФАИ в этих процессах. Например, институциональная теория помогает создать рамки и правила [3] для «зеленого» финансирования [4], эволюционная экономика объясняет динамику изменений [5], финансовая теория оценивает риски и доходность, поведенческие финансы оценивают иррациональное поведение и его влияние на финансирование зеленых проектов [6], сетевая теория [7] анализирует распространение новых практик [8], а экология задает конечные цели сохранения природы и учитывает участие заинтересованных сторон (сетей, институтов, процессов, ресурсов) в реализации этих целей [9].

Таблица

Сравнение основных подходов исследования ФАИ

Подход	Ключевая идея	ФАИ
Институциональный	Нормы и правила; рынок как система институтов, снижающих транзакционные издержки	Посредничество, аккумуляция средств, управление рисками
Эволюционный	Рынки и институты эволюционируют в соответствии с законами селекции	Адаптация к изменениям, внедрение новых технологий
Теория эффективного рынка	Цены отражают всю доступную информацию; вычисления обеспечивают справедливые цены и равновесие спроса и предложения	Автоматизация анализа данных, ускорение реакции на информацию
Поведенческие финансы	Учёт иррациональных аспектов поведения инвесторов; включение поведенческих моделей в алгоритмические системы	Разработка алгоритмов с учетом психологических факторов
Гипотеза адаптивных рынков	Рынки адаптируются к изменяющимся условиям	Гибкие алгоритмы, динамическая корректировка стратегий
Зеленые финансы	Финансирование технологической перестройки экономики	Минимизация экологического ущерба и максимизация зеленого роста через использование потенциала сетей
Сетевая теория	Рынки как сложные сети взаимодействий	Обеспечение связей между участниками, ликвидности, управление рисками
Экологическая экономика	Системный подход к сохранению экосистем	Многоканальность воздействия ФАИ на экосистему

Финансовые алгоритмы позволяют унифицировать все подходы в цифровом пространстве и использовать сетевые эффекты для их реализации. С эволюционной точки зрения рынок рассматривается как динамическая система, где финансовые инструменты развиваются посредством «мутаций» (появление новых продуктов) и «селекции» (выживание успешных моделей) [10]. ФАИ могут стать катализаторами изменений, если адаптируются к меняющимся условиям.

Финансовые рынки представлены как сети взаимосвязанных агентов (банки, инвесторы, компании). ФАИ влияют на сеть, изменяя ее структуру и потоки информации. Например, «зеленые» стандарты могут стать нормой в сети финансовых институтов. Успех «зеленых» инструментов зависит от их интеграции в существующие сети. Ключевую роль играют ведущие узлы (крупные банки, регуляторы), которые могут продвигать «зеленые» практики [11].

Непосредственно сами ФАИ анализируются через призму доходности, риска и ликвидности. Например, модели оценки активов (САРМ, АРТ) помогают определить справедливую стоимость «зеленых» инструментов. Теория портфеля Марковица подчеркивает важность диверсификации, включая «зеленые» активы.

Таким образом, роль ФАИ в развитии финансовых рынков и воздействии на их участников зависит от теоретического подхода. Несмотря на то, что новые институты в целом выступают как инструменты повышения эффективности, они могут также усиливать рыночные искажения и сбои. Понимание этих различий позволяет более глубоко анализировать влияние ФАИ на финансовую систему.

Сетевое взаимодействие как основа становления новой экосистемы

В цифровой среде формируется новый язык. Он носит не только описательный и диагностический, но также нормативный и предписывающий характер. Использование онлайн-платформ и вычислительных инструментов повышает точность и ясность информации, способствуя более глубокому её пониманию. Это подчеркивает важность предписывающих мер, основанных на предиктивном анализе, влияющем на рыночные тенденции и поведение людей и институтов. Этот новый язык позволяет более эффективно использовать зеленые, климатические, социальные и устойчивые финансовые инструменты, создавать в цифровой среде пространство для зеленого и устойчивого перехода.

Институциональные изменения на информационном и финансовом рынках вызваны развитием цифровизации [12] и являются неотъемлемой частью сетевого процесса. Финансовые технологии проникают на нефинансовые рынки и укрепляют связи между финансовыми и нефинансовыми системами, создавая новый тип отношений. Они также позволяют более широко включать природный и социальный капитал в рыночный оборот и облегчают доступ к финансовым услугам, их сохранение и развитие. В целом, развитие и диверсификация сетей, использующих искусственный интеллект, напрямую связаны с вопросом устойчивости финансовой системы [13].

В настоящее время разрабатываются перспективные принципы моделирования новых экономических связей, а также поддержания и развития устойчивых, локальных и часто негеографических систем. Финансовые алгоритмы и сетевые технологии становятся организующим звеном таких систем, формируя новую инфраструктуру финансовых коммуникаций. В этом процессе возникают новые финансовые практики, каждая со своим набором правил, положений и стандартов. Успех «зеленых», включая финансово-алгоритмические практики зависит от их интеграции в существующие сети. Ведущие узлы (крупные банки, корпорации и регуляторы) играют ключевую роль в продвижении «зелёных» проектов и практик путём создания и расширения зелёных кластеров внутри сетей.

Основополагающим принципом формирования кластеров является максимизация конкурентных преимуществ хозяйствующих субъектов за счёт снижения транзакционных издержек и создания добавленной стоимости, а также устранения информационной асимметрии в рамках заданной системы взаимоотношений. Кластерные системы в онлайн-финансовом и информационном пространстве прокладывают путь к новой модели виртуального рынка [14], в которой происходят взаимодействия между людьми и алгоритмами. В результате создается экосистема, основанная на финансовых алгоритмических институтах [15].

В настоящее время в России сформированы следующие экосистемы, основанные на финансовых алгоритмах, встроенных в сети: Сбер – объединяет широкий спектр финансовых сервисов, работающих через финансовые приложения как внутри финансовой сети (SberPay, СберБанк Онлайн), так и с использованием нефинансовых сетей (МегаМаркет, Самокат, Okko); Яндекс – технологическая компания, предоставляющая финансовые услуги через Яндекс Банк и финансовые приложения, встроенные в финансовые и нефинансовые сети; МТС – внедрила в свою сеть более 30 приложений, включая финансовые приложения МТС Банка (например, МТС Банк 2.0). Московская биржа и система верификации зелёных и устойчивых финансовых инструментов внесли значительный вклад в создание зелёной финансовой алгоритмической системы.

Для данного исследования взята за основу классификация топологии сетей финансовых институтов, предложенная Ю. С. Евлаховой [16]. Согласно этой классификации, сети финансовых институтов делятся на три категории на основе комплекса признаков: характеристики вершин сети (на финансовые институты одного или

разных типов), характеристики взаимодействия между вершинами сети (внутри страны или между странами) и характеру связи между вершинами (долговые отношения, долевые отношения, совместная деятельность). От выбранной типологии во многом зависит направление исследования, понимание процессов, происходящих на рынке, а также распределение ролей между участниками сети.

Типологии помогают исследовать финансовые рынки как на мезоуровне (развитие финансовых рынков и их регулирование), так и на микроуровне (детальное изучение финансовых взаимодействий между инвесторами и функционирующими предпринимателями, банками и их клиентами, трейдерами). Кроме того, определение норм, правил и мер регулирования, а также способствует эффективной оценки финансовых рисков и помогает управлению ими.

Моделирование взаимодействия сетей и финансово-алгоритмического посредничества

Финансовые приложения со встроенными алгоритмами, интегрированные в финансовые и нефинансовые сети, являются ключевым элементом сетевых взаимодействий и построения финансовых экосистем. Моделирование развития сетей в последнее время становится всё более актуальным. Исследователи интересуются сетевыми взаимодействиями и сетевыми эффектами.

В области сетевых взаимодействий финансовым приложениям уделяется недостаточное внимание, а роль финансовых алгоритмов как инструмента сетевой интеграции в значительной степени игнорируется. Тем не менее, финансовые приложения и алгоритмы играют ключевую роль во взаимодействии финансовых и нефинансовых сетей. Исследование этих процессов позволяет определить их роль в использовании потенциала различных сетей для финансового влияния на зелёную экономическую трансформацию и повышения эффективности финансирования экологизации экономики.

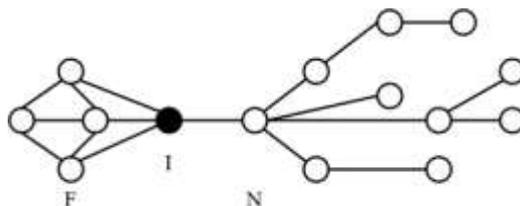


Рис. Финансовая сеть

Финансовая сеть (F) – совокупность узлов (финансовых институтов) и связей (транзакций, контрактов), описываемая графом: $F = (V_F, E_R)$, где $V_F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$, $E_R \subseteq V_F \times V_F$; V^F – узлы (банки, хедж-фонды, биржи); E^F – рёбра (финансовые потоки, обязательства).

Нефинансовые сети (N) – торговые, социальные, инфраструктурные, экологические системы: $N = (V_N, E_N)$, $V_N = \{n_1, n_2, \dots, n_m\}$, $E_N \subseteq V_N \times V_N$, где V^N – узлы (предприятия, города, экосистемы); E^N – рёбра (логистические цепочки, социальные связи).

Финансово-алгоритмический институт (I) – гибридная система, объединяющая F и N через алгоритмические модули: $I = (F, N, A)$, где A – набор алгоритмов (трейдинг, скоринг, прогнозирование).

Влияние финансовых сетей на нефинансовые (F):

$$\frac{dx_N}{dt} = \mathbf{M}_N x_N + \mathbf{W}_{FN} x_F, \quad (1)$$

где $x_N \in \mathbb{R}^m$ – состояние нефинансовых узлов (устойчивые социальные связи, производство, экология); \mathbf{M}_N – матрица внутренних взаимодействий в N ; \mathbf{W}_{FN} – матрица весов влияния финансовых потоков на N .

С помощью уравнения (1) можно показать воздействие инвестиций на изменения в других сетях. Например, влияние зеленых инвестиций на зеленое производство – $x_{GF} \rightarrow x_{GN}$, где x_{GF} – зеленые инвестиции, x_{GN} – зеленое производство.

Влияние нефинансовых сетей на финансовые (N):

$$\frac{dx_F}{dt} = \mathbf{M}_F x_F + \mathbf{W}_{NF} x_N, \quad (2)$$

где $x_F \in \mathbb{R}^M$ – финансовые показатели (например, ликвидность, волатильность); \mathbf{M}_F – матрица рыночных взаимодействий; \mathbf{W}_{NF} – матрица влияния нефинансовых факторов (климат, логистика); $\mathbf{M}_F x_F$ – рыночная динамика; $\mathbf{W}_{NF} x_N$ – экстерналии.

С помощью уравнения (2) можно продемонстрировать воздействие засухи на рост цен на продовольствие и повышение волатильности финансового рынка: засуха (x_N) \rightarrow рост цен на продовольствие (x_{PN}) \rightarrow волатильность (x_F).

Алгоритмические медиаторы (A)

Алгоритмы выступают медиаторами между F и N . При этом они оптимизируют распределение капитала между агентами финансовых и нефинансовых сетей, мониторят нефинансовые риски и адаптируются к меняющимся условиям рынка.

1. Распределение капитала (u_F):

$$u_F^*(t) = \arg \max_{u_F} \{ \|x_F - x_{F,target}\|^2 + \lambda \|u_F\|^2 \}, \quad (3)$$

где λ – штраф за риск.

2. Мониторинг нефинансовых рисков (y_N):

$$y_N(t) = H_N x_N(t) + v_N(t), \quad (4)$$

где H_N – матрица наблюдений (датчики, соцсети), v_N – шум.

3. Адаптация стратегий (π):

$$\pi(t) = L(x_F(t), x_N(t), \theta(t)), \quad (5)$$

где L — алгоритм обучения (RL, градиентный спуск), θ — параметры модели.

Механизм объединения финансовых и нефинансовых сетей в экосистемы основан на интеграции различных сервисов и технологий на единой цифровой платформе. Это взаимодействие приводит к синергетическому эффекту, включающему в себя также повышение лояльности клиентов и расширение охвата участников экосистемы. Ключевым условием такого объединения является цифровизация и интеграция финансовых приложений в финансовые и нефинансовые сети, что обеспечивает более вовлекающий пользовательский опыт и унификацию разрозненных сервисов. Это создает основу для бесперебойного предоставления финансовых услуг инвесторам и финансовым клиентам через единое окно – «бесшовного» финансового обслуживания.

Объединение финансовых и нефинансовых сетей в экосистемы обеспечивает интеграцию различных сервисов и технологий. Финансовые алгоритмы консолидируют свои посреднические функции в сетевом пространстве, включая в систему институциональные факторы. Модель алгоритмического финансового медиатора в сетевом пространстве позволяет анализировать распределение капитала между сетями и включать мониторинг нефинансовых рисков в структуру и стратегию финансового алгоритмического посредничества.

Выступают катализаторами интеграционного процесса, финансовые алгоритмы обеспечивают аналитику, персонализацию и управление рисками. Однако для успешного развития экосистем необходим баланс между инновациями, регулированием и безопасностью. ФАИ и новые экосистемы могут стать катализаторами построения зеленой экономики и устойчивого развития, если их применение направлено на решение экологических проблем.

Экологически чистая экономика и ФАИ

ФАИ способствуют интеграции сетей, тем самым они открывают более широкие возможности для использования потенциала различных сетей в целях построения «зелёной» экономики. Например, алгоритмизация процессов повышает эффективность анализа данных, прогнозирования и принятия решений, позволяя связывать финансовые транзакции с нефинансовыми показателями (например, экологическими, климатическими, природными и социальными метриками). Кроме того, межсетевые взаимодействия позволяют мобилизовывать ресурсы различных сетей и их пользователей для зеленого финансирования, а также координировать кросс-сетевую финансовую активность.

Создавая специализированные цифровые платформы в рамках новых экосистем, пользователи получают доступ к финансовым и нефинансовым услугам (например, банки предлагают клиентам услуги по управлению энергопотреблением или утилизации отходов). Анализ поведения пользователей позволяет предлагать персонализированные финансовые и нефинансовые продукты, укрепляя лояльность клиентов и расширяя спектр услуг. Финансовые институты создают автоматизированные сервисы для покупки «зелёных» облигаций и

направления инвестиций в устойчивые проекты. Развиваются платформы, объединяющие финансовые услуги с сервисами мониторинга углеродного следа, управления отходами, переработки и повторного использования

Важным направлением участия ФАИ в создании «зелёной» экономики является участие в организации финансирования «зелёных» проектов. В частности, алгоритмы анализируют инвестиционные возможности в области возобновляемой энергетики, органического сельского хозяйства и управления отходами, предлагая инвесторам оптимальные решения. Они также участвуют в мониторинге и управлении экологическими рисками (прогнозируют изменение климата, оценивают воздействие различных инвестиций на окружающую среду и разрабатывают меры по снижению рисков). В последнее время финансовые алгоритмы способствуют развитию экономики замкнутого цикла (оптимизируют процессы переработки отходов, участвуют в управлении ресурсами и разрабатывают замкнутые производственные циклы).

При интеграции экологических показателей в финансовую отчётность (в том числе по МСФО S1 и S2) алгоритмы собирают необходимые данные и используются для раскрытия информации о рисках и возможностях, связанных с устойчивым развитием. Это позволяет учитывать экологические факторы в корпоративной практике. Новым приказом Минфина России от 29 августа 2025 г. № 120н утвержден порядок публикации информации о финансовых и нефинансовых активах государственных организаций. Однако для неправительственных организаций предоставление данной информации по-прежнему является добровольным.

Несмотря на потенциал алгоритмов, существуют и риски. В частности, возросшая зависимость от технологий часто приводит к чрезмерной зависимости от алгоритмических решений, что может привести к игнорированию нецифровых факторов, важных для окружающей среды. Более того, алгоритмические процессы требуют точности и полноты данных. Однако неточные или неполные данные часто могут исказить результаты анализа и приводить к принятию неэффективных решений. Генеративные сети частично решают проблему нехватки данных и проверки их точности, искусственно генерируя недостающие данные и корректируя неточные. Регулирующие органы также сталкиваются с трудностями. Им необходимо постоянно адаптироваться к быстро меняющимся технологиям и учитывать все нюансы своей работы.

Таким образом, алгоритмические финансовые институты могут стать мощным инструментом для создания интегрированных экосистем, способствующих устойчивому развитию. Однако их эффективность зависит от целенаправленного применения в рамках экологически ориентированной стратегии.

Упрощенная модель участия ФАИ в создании экологически чистой экономики

Предлагается следующая модель, демонстрирующая потенциальную роль финансовых алгоритмических институтов в переходе к зелёной экономике, учитывающая взаимосвязь финансовых и нефинансовых сетей в реализации их потенциала.

Изменение уровня экологизации с учётом целенаправленного воздействия алгоритмических финансовых институтов на финансовые потоки, технологическое развитие и изменения в регулировании можно описать следующим дифференциальным уравнением:

$$\frac{dE}{dt} = \underbrace{\alpha \cdot F(t) \cdot (1 + \delta \cdot A(t))}_{\text{зеленые финансовые потоки под воздействием ФАИ}} + \underbrace{\beta \cdot T(t) \cdot (1 + \delta \cdot A(t))}_{\text{зеленая технология под воздействием ФАИ}} + \underbrace{\gamma \cdot R(t) \cdot (1 + \delta \cdot A(t))}_{\text{регулирование с учетом ФАИ}} + \underbrace{\mu \cdot E(t)}_{\text{зеленая экономика}}, \quad (6)$$

где $E(t)$ – уровень экологизации экономики в момент времени t (безразмерный индекс) – $0 \leq E \leq 1, E = 1$ – полностью «зеленая» экономика; $F(t)$ – объем «зеленых» финансовых потоков (инвестиции, кредиты, субсидии) в момент t (в денежных единицах); $T(t)$ – уровень технологического развития «зелёных» технологий (безразмерная величина, $0 \leq T \leq 1$); $R(t)$ – регуляторная поддержка (налоговые льготы, квоты, штрафы) для экологически чистых проектов ($0 \leq R \leq 1$); $A(t)$ – активность ФАИ (доля алгоритмизированных решений в финансовых операциях, связанных с экологией; $0 \leq A \leq 1$).

Параметры модели: α – чувствительность E к финансовым потокам F ; β – влияние технологий T на экологизацию; γ – вес регуляторной поддержки R ; δ – мультипликативный эффект ФАИ (A усиливает эффективность F, T, R). M – коэффициент «старения» экологических решений (устаревание технологий, изменение стандартов); слагаемые с $(1 + \delta \cdot A(t))$ отражают, что ФАИ усиливают эффективность финансовых, технологических и регуляторных факторов.

Финансовые потоки

Из данного уравнения следует, что повышение активности ФАИ (A), ведет к росту финансовых потоков, внедрению технологий и развитию регулирования. В результате ФАИ оказывают стимулирующее влияние на экологизацию.

$$\frac{dF}{dt} = \eta \cdot \mu \cdot E(t)E(t) + \theta \cdot R(t) + \kappa \cdot A(t) - \nu \cdot F(t), \quad (7)$$

где η, θ, κ — коэффициенты влияния E, R, A на приток финансов; ν — отток капитала (например, из-за рисков или появления более эффективных альтернатив).

Объем «зеленых» финансовых потоков зависит от текущей экологизации (E) (рост E ведет к росту заинтересованности инвесторов к этой сфере) [17]; регуляторная поддержка (R) — льготные налоги и субсидии стимулируют финансирование; активность ФАИ (A) — алгоритмы оптимизируют инвестиционные потоки.

Финансовый канал влияния отражает прямое воздействие инвестиций на перестройку экономических потоков:

$$\alpha \cdot \frac{A}{Y} \cdot (1 - E), \quad (8)$$

где Y — ВВП.

Чем выше доля ФАИ в ВВП (A/Y), тем быстрее растут зеленые технологии — T .

Изменение технологий

Технологический уровень растет за счет инвестиций (F), регуляторных стимулов (R), алгоритмической оптимизации (A). ФАИ помогают находить и активизировать финансирование прорывных решений.

$$\frac{dT}{dt} = \rho \cdot F(t) + \sigma \cdot R(t) + \tau \cdot A(t) - \lambda \cdot T(t), \quad (9)$$

где ρ, σ, τ — коэффициенты влияния F, R, A на технологии; λ — устаревание технологий.

Влияние ФАИ

ФАИ развиваются под влиянием «зеленых» финансов (F). Рост финансирования открывает большие возможности для алгоритмических решений (большой выбор, лучше обучение, растет активность). Финансирование оказывает воздействие на технологический уровень (T) и в свою очередь финансирование и активность ФАИ зависят от регулирования (R). Так, налоговые льготы, субсидирования, тарифные ограничения могут как стимулировать, так и тормозить внедрение «зеленых» ФАИ.

$$\frac{dA}{dt} = \phi \cdot F(t) + \chi \cdot T(t) + \psi \cdot R(t) - \omega \cdot A(t), \quad (10)$$

где ϕ, χ, ψ — коэффициенты влияния F, T, R на ФАИ; ω — издержки, связанные с поддержанием алгоритмических систем.

Равновесии системы ($dE/dt = dF/dt = dT/dt = dA/dt = 0$) можно выразить через параметры модели E, F, T, A . Например, при $\delta > 0$ происходит усиление эффектов от активности ФАИ. В результате уровень экологизации (E) будет выше, чем при $\delta = 0$ (без ФАИ). Аналогичное воздействие оказывают параметры α, β, γ на финансовые потоки (F), технологию (T) и регулирование (R) экологической сферы.

Если ввести в систему показатель ВВП — Y , то можно проследить его изменение под воздействием экологизации экономики, зеленых технологических изменений и регулирования:

$$\delta \cdot \frac{A^*}{Y^*} \cdot (1 - E^*) + \beta \cdot T^* \cdot (1 - E^*) = \eta \cdot P(E^*, Y^*) \cdot (1 + \gamma \cdot R^*), \quad (11)$$

где $P(E, Y)$ — функция экологического ущерба.

Устойчивая экологизация экономики достигается при $E^* \rightarrow 1$, стагнация при $0 < E^* < 1$ и деградация при $E^* \rightarrow 0$, что происходит при низком уровне развития ФАИ ($A \rightarrow 0$) или высоком ущербе ($P \uparrow$).

Одновременное действие всех параметров на ускоряющие процессы создает мультипликативный эффект ($\delta > 0$). В результате от действия ФАИ может повышаться отдача от каждого рубля, вложенного в «зеленые» проекты. В результате алгоритмической оптимизации цепочек поставок происходит снижение углеродного следа на 20% при тех же инвестициях.

Выводы

Интеграция ФАИ с методами машинного обучения и включение в их структуру поведенческих моделей и создание на этой основе экосистем позволяет полнее учитывать динамику рынков и администрировать финансовые процессы, одновременно решая задачи, связанные с инвестиционным воздействием на технологическую перестройку и окружающую среду, входящие в сферу их операционной компетенции.

С точки зрения финансовой теории и практики, особенно в контексте устойчивого финансирования и реализации ЦУР, ФАИ становятся новыми участниками экологического реформирования экономики. Проведенный анализ потенциала ФАИ позволяет сделать выводы о его способности оказать существенное воздействие на экономическое развитие.

Выводы из предложенной модели влияния ФАИ на экологизацию экономики

Поскольку экологизация экономики – нелинейный процесс, многоканальное вмешательство повышает эффективность преобразований. Совместное использование финансовых механизмов (перераспределение инвестиций), технологических механизмов (создание и распространение «зелёных» решений) и механизмов регулирования (изменение норм и правил) создаёт синергетический эффект.

На ранних стадиях ($E \approx 0$) экологизация ускоряется благодаря высокому потенциалу. Увеличение доли ФАИ в ВВП (A/Y) ускоряет экологизацию, но требует бюджетной поддержки. На более поздних стадиях ($E \rightarrow 1$) происходит постепенное насыщение, требующее увеличения расходов для поддержания прежнего темпа экологизации экономики. Без увеличения расходов экологизация экономики может снизиться, что приведет к переходу на менее экологичную траекторию.

Эффективность инвестиций в «зеленые» технологии (T) отсрочена из-за времени, необходимого для подготовки инвестиций, инерционности финансовых, производственных и торговых цепочек, а также инерционности спроса на инновации в случае производства новых экологически чистых продуктов. Более того, полный эффект возможен при масштабировании новых технологий, что также требует дополнительного времени.

Вклад «зелёных» технологий в выпуск экологически чистой продукции может быть сохранен в следующем случае: $E(t) \rightarrow$ рост $T(t) \rightarrow$ рост $Y(t) \rightarrow$ увеличение ресурсов для ИИ. Напротив, ужесточение регулирования (R) загрязняющего производства может снизить ущерб окружающей среде, но замедлить рост ВВП (Y). Инвестиции в исследования и разработки (β_T) обеспечивают долгосрочный эффект за счет роста $T(t)$.

Система имеет низкоэкологичное равновесие ($E^* \approx 0$) при $\gamma_0 < \gamma_{кр}$ или $P > P_{кр}$; высокоэкологичное равновесие ($E^* \rightarrow 1$) при превышении пороговых значений σ , β_T , γ_R . В целом, система сильно зависит от начальных условий, связанных с уровнем загрязнения, экологизацией, технологиями и экологическим регулированием. Начальные значения $E(0)$, $T(0)$ и $R(0)$ определяют скорость перехода. Стартовые субсидии позволяют корректировать начальную скорость перехода.

Ускорение технологического прогресса ($\tau > 0$) может происходить по трем сценариям:

Сценарий 1: без ФАИ ($\delta = \tau = \kappa = 0$) медленная экологизация экономики, высокая зависимость от государственного регулирования;

Сценарий 2: умеренная активность ФАИ ($\delta, \tau, \kappa > 0$) – ускоренный рост E за счет синергетического эффекта, вызванного совместным действием финансов, технологий и алгоритмов;

Сценарий 3: высокая активность ФАИ с государственной поддержкой – экспоненциальный рост E благодаря возникновения обратной связи ($A \rightarrow F \rightarrow T \rightarrow A$).

Для повышения эффективности ФАИ в экологизации экономики необходимо разработать долгосрочную стратегию с четкими целевыми показателями по $A(t)$, $F(t)$, $E(t)$, $T(t)$, $R(t)$. Это позволит преодолеть инерцию системы за счет сочетания регулирования и субсидий, а также налоговых стимулов и ограничений.

Предлагаемая модель позволяет проводить качественную и количественную оценку альтернативных вариантов политики (например, сравнивая влияния налогов с субсидиями). Параметры модели могут быть откалиброваны с учетом специфики страны/отрасли/региона.

Модель не рассматривает рыночную самоорганизацию финансовых алгоритмических институтов, а также влияние спроса и предложения на развитие ФАИ. В дальнейшем данные вопросы будут учтены.

Литература

1. Rudko I., Bonab A.B., Fedele M., Formisano A.V. New institutional theory and AI: toward rethinking of artificial intelligence in organizations // Journal of Management History. 2024. Vol. 31. No. 2. pp. 261-284. <https://doi.org/10.1108/JMH-09-2023-0097>.

2. Almeida V., Mendonça R.F., Filgueiras F. Thinking of algorithms as institutions // *Communications of the ACM*. 2025. vol. 68. issue 1. pp. 20-3. <https://doi.org/10.1145/3680411>.
3. Prietl B., Raible S. The Politics of Data Science: Institutionalizing Algorithmic Regimes of Knowledge Production. 2024. <https://doi.org/10.1515/9789048556908-012>.
4. Azam M., Haroon M., Rahman S.U., Ali H., Chani M.I. The theoretical perspective of green finance. In *The palgrave handbook of green finance for sustainable development*. 2024. pp. 19–47. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-65756-6_2.
5. Njegovanović A. Financial evolution and interdisciplinary research // *Financial Markets, Institutions and Risks*. 2023. vol. 7. issue. 1. pp. 71-95. [https://doi.org/10.21272/fmir.7\(1\).71-95.2023](https://doi.org/10.21272/fmir.7(1).71-95.2023).
6. Ooi K.L. Modern Behavioural Finance Theories // In *Demystifying Behavioral Finance: Foundational Theories to Contemporary Applications and Future Directions*. 2025. pp. 59-69. Singapore: Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-96-2690-8_4
7. Challa S.R.R. Advancements in Digital Brokerage and Algorithmic Trading: The Evolution of Investment Platforms in a Data Driven Financial Ecosystem. *Advances in Consumer Research*. 2025. vol 2. issue. 1.
8. Konstantinov G.S., Fabozzi F.J. *Network Models in Finance: Expanding the Tools for Portfolio and Risk Management*. John Wiley & Sons. 2025.
9. Teng Z., Xia H., He Y. Rewiring Sustainability: How Digital Transformation and Fintech Innovation Reshape Environmental Trajectories in the Industry 4.0 Era. // *Systems*. 2025. vol. 13. issue 6. <https://doi.org/10.3390/systems13060400>.
10. Архипов А.Ю., Мартишин Е.М., Зотова Т.А. Эволюционно-генетические механизмы экономического роста и развития // *Журнал институциональных исследований*. 2020. Т. 12. № 2. С. 100-118. DOI 10.17835/2076-6297.2020.12.2.100-118.
11. Тихонов А., Годес Н. Акторно-сетевая теория в исследовании цифрового финансово-инвестиционного пространства: методологический подход // *Банкаўскі веснік, СТУДЗЕНЬ 2022*. 17-24. <https://www.nbrb.by/bv/pdf/articles/10941.pdf>.
12. Шиповалова Л.В. Институциональные взаимодействия в эпоху цифровых технологий: проблема концептуального анализа // *Государство и граждане в электронной среде*. 2021. № 5. С. 11-20. DOI 10.17586/2541-979X-2021-5-11-20.
13. Пантелеева А.И. Анализ устойчивости финансовых систем с использованием агентного моделирования и искусственного интеллекта // *Вестник науки*. 2025. Т. 2. № 1(82). С. 1066-1071.
14. Мироненко Н.В. Институциональные изменения на рынках сетевого информационного посредничества на основе кластерообразования // *Учен. зап. Петрозавод. гос. ун-та. Сер.: Общественные и гуманитарные науки*. 2013. № 3 (132). С. 106-110. URL: <http://elibrary.petrus.ru/books/18964>.
15. Крутяков В.С. Тенденции и перспективы институциональной интеграции централизованных и децентрализованных финансов / В. С. Крутяков // *Экономическая безопасность*. 2025. Т. 8., № 2. С. 363-376. DOI 10.18334/ecsec.8.2.122779.
16. Евлахова Ю.С. Исследование сетевых взаимодействий финансовых институтов на российском финансовом рынке // *Научно-исследовательский финансовый институт. Финансовый журнал*. 2016. № 6(34). С. 110-120.
17. Черемушкина И.В., Осенева О.В. «Зеленая» экономика: экологические инновации и экологические продукты // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2023. Т. 85. № 4(98). С. 28-34. – DOI 10.20914/2310-1202-2023-4-28-34.

References

1. Rudko I., Bonab A.B., Fedele M., Formisano A.V. New institutional theory and AI: toward rethinking of artificial intelligence in organizations // *Journal of Management History*. 2024. Vol. 31. No. 2. pp. 261-284. <https://doi.org/10.1108/JMH-09-2023-0097>.
2. Almeida V., Mendonça R.F., Filgueiras F. Thinking of algorithms as institutions // *Communications of the ACM*. 2025. vol. 68. issue 1. pp. 20-3. <https://doi.org/10.1145/3680411>.
3. Prietl B., Raible S. The Politics of Data Science: Institutionalizing Algorithmic Regimes of Knowledge Production. 2024. <https://doi.org/10.1515/9789048556908-012>.
4. Azam M., Haroon M., Rahman S.U., Ali H., Chani M.I. The theoretical perspective of green finance. In *The palgrave handbook of green finance for sustainable development*. 2024. pp. 19–47. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-65756-6_2.
5. Njegovanović A. Financial evolution and interdisciplinary research // *Financial Markets, Institutions and Risks*. 2023. vol. 7. issue. 1. pp. 71-95. [https://doi.org/10.21272/fmir.7\(1\).71-95.2023](https://doi.org/10.21272/fmir.7(1).71-95.2023).

6. Ooi K.L. Modern Behavioural Finance Theories // In Demystifying Behavioral Finance: Foundational Theories to Contemporary Applications and Future Directions. 2025. pp. 59-69. Singapore: Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-96-2690-8_4
7. Challa S.R.R. Advancements in Digital Brokerage and Algorithmic Trading: The Evolution of Investment Platforms in a Data Driven Financial Ecosystem. *Advances in Consumer Research*. 2025. vol 2. issue. 1.
8. Konstantinov G.S., Fabozzi F.J. *Network Models in Finance: Expanding the Tools for Portfolio and Risk Management*. John Wiley & Sons. 2025.
9. Teng Z., Xia H., He Y. Rewiring Sustainability: How Digital Transformation and Fintech Innovation Reshape Environmental Trajectories in the Industry 4.0 Era. // *Systems*. 2025. vol. 13. issue 6. <https://doi.org/10.3390/systems13060400>.
10. Arkhipov A.Yu., Martishin E.M., Zotova T.A. Evolyutsionno-geneticheskie mekhanizmy ekonomicheskogo rosta i razvitiya // *Zhurnal institutsional'nykh issledovaniy*. 2020. T. 12. № 2. S. 100-118. DOI 10.17835/2076-6297.2020.12.2.100-118.
11. Tikhonov A., Godes N. Aktorno-setevaya teoriya v issledovanii tsifrovogo finansovo-investitsionnogo prostranstva: metodologicheskii podkhod // *Bankaŭski vesnik, "STUDZEN"* 2022. 17-24. <https://www.nbrb.by/bv/pdf/articles/10941.pdf>.
12. Shipovalova L.V. Institutsional'nye vzaimodeistviya v epokhu tsifrovoykh tekhnologii: problema kontseptual'nogo analiza // *Gosudarstvo i grazhdane v elektronnoy srede*. 2021. № 5. S. 11-20. DOI 10.17586/2541-979X-2021-5-11-20.
13. Panteleeva A.I. Analiz ustoichivosti finansovykh sistem s ispol'zovaniem agentnogo modelirovaniya i iskusstvennogo intellekta // *Vestnik nauki*. 2025. T. 2. № 1(82). S. 1066-1071.
14. Mironenko N.V. Institutsional'nye izmeneniya na ryinkakh setevogo informatsionnogo posrednichestva na osnove klasteroobrazovaniya // *Uchen. zap. Petrozavod. gos. un-ta. Ser.: Obshchestvennye i gumanitarnye nauki*. 2013. № 3 (132). S. 106-110. URL: <http://elibrary.petsu.ru/books/18964>.
15. Krutyakov V.S. Tendentsii i perspektivy institutsional'noi integratsii tsentralizovannykh i detsentralizovannykh finansov / V. S. Krutyakov // *Ekonomicheskaya bezopasnost'*. 2025. T. 8., № 2. S. 363-376. DOI 10.18334/ecsec.8.2.122779.
16. Evlakhova Yu.S. Issledovanie setevykh vzaimodeistvii finansovykh institutov na rossiiskom finansovom rynke // *Nauchno-issledovatel'skii finansovyi institut. Finansovyi zhurnal*. 2016. № 6(34). S. 110-120.
17. Cheremushkina I.V., Oseneva O.V. «Zelenaya» ekonomika: ekologicheskie innovatsii i ekologicheskie produkty // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii*. 2023. T. 85. № 4(98). S. 28-34. – DOI 10.20914/2310-1202-2023-4-28-34.

Статья поступила в редакцию 02.12.2025
Принята к публикации 02.03.2026

Received 02.12.2025
Accepted for publication 02.03.2026