

УДК 338.27, 338.242.2

А.В. Мурава-Середа

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва,
email: muravasereda.av@gmail.com

Юго-Восточная академия (филиал) ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»,
Феодосия

ОЦЕНКА И РЕГУЛИРОВАНИЕ ТРАНСГРАНИЧНЫХ ИННОВАЦИОННЫХ СИСТЕМ, ОСНОВАННЫХ НА НОСИТЕЛЕ ИННОВАЦИИ

Ключевые слова: трансграничная инновационная система, степень зрелости ТИС, социо-эколого-ориентированное развитие ТИС, тип носителя инноваций, цифровая трансформация.

Статья посвящена разработке научного обеспечения социо-эколого-ориентированного развития трансграничной инновационной системы, основанного на носителе инновации. Предложена типология носителей инноваций, охватывающая трансграничные инновационные системы различного уровня управляемости и различной степени зрелости, а именно: стихийные трансграничные системы, трансграничные системы предыдущего уклада и трансграничные системы 5.0 всех уровней зрелости. Разработано численное представление социо-эколого-ориентированного развития трансграничной инновационной системы, основанного на носителе инновации. Численным методом определено влияние эмерджентности на успешное развитие трансграничной инновационной системы. Численным методом определена роль цифровой трансформации, связанной с типом носителя инновации в социо-эколого-ориентированном развитии трансграничной инновационной системы. Предложен механизм обеспечения социо-эколого-ориентированного развития трансграничной инновационной системы в контексте ее эмерджентности, основанный на принципах устойчивости и эффективности социо-эколого-экономического развития и на системе показателей устойчивого развития территорий, в том числе, в условиях цифровой трансформации. Разработан алгоритм обеспечения социо-эколого-ориентированного развития трансграничной инновационной системы в контексте ее эмерджентности, основанный на принципах устойчивости и эффективности социо-эколого-экономического развития и на системе показателей устойчивого развития территорий, в том числе, в условиях цифровой трансформации.

A.V. Murava-Sereda

Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow,
email: muravasereda.av@gmail.com

South-Eastern Academy (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution
of Higher Education "V.I. Vernadsky Kazan Federal University", Feodosia

ASSESSMENT AND REGULATION OF CROSS-BORDER INNOVATION SYSTEMS BASED ON INNOVATION CARRIERS

Keywords: cross-border innovation system, maturity level of the cross-border innovation system, socio-ecological-oriented development of the cross-border innovation system, type of innovation carrier, digital transformation.

The article focuses on the development of scientific support for the socio-ecological-oriented development of a transboundary innovation system (TIS) based on innovation carriers. A typology of innovation carriers has been proposed, encompassing transboundary innovation systems of various levels of manageability and maturity, specifically: spontaneous transboundary systems, transboundary systems of the previous paradigm, and transboundary 5.0 systems of all maturity levels. A numerical representation of the socio-ecological-oriented development of a transboundary innovation system based on innovation carriers has been developed. Using numerical methods, the impact of emergent properties on the successful development of the transboundary innovation system has been determined. Additionally, the role of digital transformation associated with the type of innovation carrier in the socio-ecological-oriented development of the transboundary innovation system has been quantified. A mechanism has been proposed to ensure the socio-ecological-oriented development of the transboundary innovation system in the context of its emergent properties. This mechanism is based on the principles of sustainability and efficiency in socio-ecological-economic development and relies on a system of sustainable development indicators for territories, including under conditions of digital transformation. An algorithm has been developed to support the socio-ecological-oriented development of the transboundary innovation system in the context of its emergent properties. The algorithm is grounded in the principles of sustainability and efficiency in socio-ecological-economic development and integrates a system of sustainable development indicators for territories, including within the framework of digital transformation.

Трансграничные инновационные системы могут возникать как стихийно, так и в результате направленного управленческого воздействия, могут находиться на различных уровнях зрелости, социо-эколого-ориентированности и цифровой трансформации, однако, любой из описанных случаев требует научного обеспечения для эффективного функционирования системы. Современные трансграничные системы являются сложными динамическими структурами, что приводит к необходимости учёта множества факторов при управлении ими, прогнозировании и разного рода оценках. Отдельного внимания заслуживает эмерджентность трансграничных систем и её роль в указанных процессах. Кроме того, тренды международного развития, определивших устойчивое развитие, в том числе и социо-эколого-ориентированное развитие важным вектором как для организованной стихийно или посредством управляемого воздействия обязывают к разработке комплексного научного обеспечения. В этой связи обозначена проблема, гипотеза, цель и задачи исследования.

Проблема

Необходимость разработки основанного на носителе инновации научного обеспечения социо-эколого-ориентированного развития трансграничной инновационной системы (далее – ТИС).

Гипотеза

Успешное развитие ТИС может обеспечиваться всеми типами носителей инноваций, поскольку связано нелинейно с используемыми способами передачи, генерации и совместного использования знаний и технологий, с разницей в их стоимости, а также обусловлено её эмерджентностью и устойчивостью.

Цель

Разработать механизм и алгоритм обеспечения социо-эколого-ориентированного развития трансграничной инновационной системы в контексте её эмерджентности, основанного на принципах устойчивости и эффективности социо-эколого-экономического развития и на системе показателей устойчивого развития территорий и органи-

заций, в том числе, в условиях цифровой трансформации.

Задачи:

- 1) предложить типологию носителей инноваций;
- 2) разработать численное представление социо-эколого-ориентированного развития трансграничной инновационной системы, основанного на носителе инновации;
- 3) определить численным методом влияние эмерджентности на успешное развитие ТИС;
- 4) предложить способ учета вероятностного фактора связанного с типом носителя инновации и обусловленного её потенциалом;
- 5) определить численным методом роль цифровой трансформации, связанной с типом носителя инновации в социо-эколого-ориентированном развитии трансграничной инновационной системы;
- 6) разработать механизм обеспечения социо-эколого-ориентированного развития трансграничной инновационной системы в контексте её эмерджентности, основанный на принципах устойчивости и эффективности социо-эколого-экономического развития и на системе показателей устойчивого развития территорий, в том числе, в условиях цифровой трансформации;
- 7) разработать алгоритм обеспечения социо-эколого-ориентированного развития трансграничной инновационной системы в контексте её эмерджентности, основанный на принципах устойчивости и эффективности социо-эколого-экономического развития и на системе показателей устойчивого развития территорий, в том числе, в условиях цифровой трансформации.

Обзор литературы

Теме развития трансграничных инновационных систем посвящено множество исследований. Автор [1] указывает, что устойчивость трансграничной инновационной системы может быть определена через энтропийный подход. Авторы [2] в своем исследовании выявили признаки пограничности градиента трансграничного процесса, процессов, протекающих в трансграничных регионах, в том числе для когерентных процессов.

Страна	Авторы
Россия	Гвоздкова И.А. Математические задачи социо-эколого-ориентированной экономики. Труд и социальные отношения
Россия	Гвоздкова И.А. Эколого-ориентированные математические модели управления рисками и обеспечением безопасности // Вестник университета
Россия	Яфасов А.Я., Кострикова Н.А. Проблемы трансформации социально-экономических систем в постcovid-19-й экономике. Известия КГТУ.
Россия	Бараков В.С. Модернизация экономики регионов России: факторы, оценка и мониторинг результатов
Россия	Соловьева Т.С. Формирование и развитие региональных социально-инновационных подсистем (на примере субъектов Северо-Западного федерального округа)
Россия	Костюченко Н.В. Глобальные цепочки добавленной стоимости: эволюция и ключевые этапы развития // Актуальные вопросы общества, науки и образования
Англия, Испания, Кипр	Ghobadian A., Talavera I., Bresciani S., Troise C. Successful establishment of innovation systems for low visibility breakthrough innovations: The role of system builders, proximal institution and legitimacy. Technological Forecasting and Social Change
Пакистан, Саудовская Аравия	Usman M., Khan N., Omri A. Environmental policy stringency, ICT, and technological innovation for achieving sustainable development: Assessing the importance of governance and infrastructure. Journal of Environmental Management
Южная Корея	Yoon S., Ho J.Y. Delivering sustainable development via social innovation: Cases of social entrepreneurship in South Korea and Singapore. Sustainable Development
Германия, Южная Корея	Salie F., de Jager K. Orthopaedic device innovation in South Africa: case studies exploring the effect of context on knowledge development and exchange. The South African Journal of Industrial Engineering
Италия	Spigarelli F., Compagnucci L., Lepore D. Blockchain unlocking collaborative opportunities for environmental sustainability through innovation intermediaries. The Journal of Technology Transfer
Япония	Kamikawa Y., Brummer M. Cross-national and cross-sectoral dynamics of innovation policies: The case of lithium-ion battery technology for electric vehicles in the US and China. Technological Forecasting and Social Change
Нидерланды, США	Bakhuis J., Kamp L.M., Barbour N., Chappin É.J. Frameworks for multi-system innovation analysis from a sociotechnical perspective: A systematic literature review. Technological Forecasting and Social Change
Нидерланды	Van der Loos A., Frenken K., Hekkert M., Negro S. On the resilience of innovation systems. Industry and Innovation
Германия	Weiss D., Ashari P.A., Blind K. Exploring the fuel-cell technological innovation system: Technology interactions in the mobility sector. Transportation Research Interdisciplinary Perspectives
США	Misra S. Measuring Innovation: Perspectives from Engineering Education and Clean Energy (Doctoral dissertation)
Словения	Fric U., Lutman T., Mlinar T. State Aid in Academia-Industry Cooperation: An Overview of the Existing Conditions and Challenges Through the ExSACT Project. CERN IdeaSquare Journal of Experimental Innovation
Норвегия, Дания	Steen M., Andersen A.D., Finstad J., Hansen T., Hanson J., Jordal K., Mäkitie T., Nordholm A., Ryghaug M., Santoalha A. CCS technological innovation system dynamics in Norway. International Journal of Greenhouse Gas Control
Испания	Parra-López C., Reina-Usuga L., Garcia-Garcia G., Carmona-Torres C. Functional analysis of technological innovation systems enabling digital transformation: A semi-quantitative multicriteria framework applied in the olive sector. Agricultural Systems
США	Yoon J., Pant G., Pant S. Discovery of Technological Innovation Systems: Implications for Predicting Future Innovation. Journal of Management Information Systems
	John N., Wesseling J.H., Frenken K. The accessibility and applicability of resources in innovation systems: Unpacking systemic problems. Social Change

В работе [3] рассматривается применение математических методов для решения задач, связанных с социо-экологической и экономической устойчивостью, подчеркивается важность практического применения математических методов в разработке стратегий управления для достижения устойчивого развития. Автор [4] акцентирует внимание на необходимости разработки эколого-ориентированных математических моделей, которые могут помочь в управлении рисками, связанными с экологическими и социальными аспектами. Яфасов А.Я. и Кострикова Н.А. в [5] исследует изменения, происходящие в социально-экономических системах в результате пандемии COVID-19 и связанные с ними вызовы и возможности, а именно: увеличение уровня неопределенности в экономической среде, необходимость адаптации бизнес-моделей и стратегий к изменяющимся условиям рынка, изменения в потребительских предпочтениях и поведении населения, требующие пересмотра социальных программ и услуг. Статья В.С. Баракова [6] рассматривает ключевые аспекты модернизации экономик российских регионов, акцентируя внимание на факторах, способствующих этому процессу, а также на методах оценки и мониторинга результатов. Соловьева Т.С. определяет социально-инновационные подсистемы как интеграцию социальных и инновационных процессов, направленных на решение актуальных социальных проблем и улучшение качества жизни населения [7]. Статья Н.В. Костюченко исследует динамику и трансформацию глобальных цепочек добавленной стоимости (ГЦДС) в контексте современного экономического развития [8]. М. Усман, Н. Хан и А. Омри исследуют взаимосвязь между строгостью экологической политики, информационно-коммуникационными технологиями (ИКТ) и технологическими инновациями в контексте устойчивого развития [9]. Статья С. Юн и Дж.Й. Хо посвящена исследованию роли социального предпринимательства в достижении устойчивого развития в контексте Южной Кореи и Сингапура. Авторы подчеркивают, что социальное предпринимательство является важным механизмом для решения социальных и экологических проблем, способствуя

созданию устойчивых сообществ [10]. Статья Ф. Сали и К. де Ягера исследует влияние контекстуальных факторов на развитие знаний и обмен информацией в области инноваций ортопедических устройств в Южной Африке. Авторы анализируют, как различные контекстуальные факторы, такие как межсекторное сотрудничество, доступность ресурсов и легитимность устройств, влияют на процессы разработки и обмена знаниями в системе инноваций [11]. Статья Ф. Спигарелли, Л. Компаньуччи и Д. Лепоре исследует роль блокчейн-технологий и инновационных посредников в содействии экологической устойчивости через сотрудничество малых и средних предприятий. Авторы подчеркивают, что блокчейн-технология (БТ) имеет значительный потенциал для решения экологических проблем, особенно в контексте МСП. Блокчейн может улучшить прозрачность, отслеживаемость и доверие в цепочках поставок, что критически важно для внедрения устойчивых практик [12]. Статья Камикавы Юки и Маттью Браммера посвящена исследованию взаимодействия между национальными и секторальными инновационными политиками в контексте технологий литий-ионных батарей для электромобилей в США и Китае. Авторы подчеркивают необходимость создания более интегрированных подходов к разработке инновационных политик, которые учитывают глобальные тенденции и межнациональные взаимодействия [13]. В работе [14] выполнен систематический обзор литературы, посвященный анализу многоуровневых инновационных систем с социотехнической точки зрения. Исследуется концепция многоуровневых инновационных систем, которая включает в себя взаимодействия между различными уровнями (например, микро-, мезо- и макроуровни) и секторами. Авторы [15] подчеркивают, что устойчивая технологическая инновационная система должна поддерживать как масштабирование существующих компетенций, так и развитие новых инноваций. Они утверждают, что слишком быстрое масштабирование может угрожать устойчивости системы, ограничивая разнообразие решений. Мисра анализирует существующие подходы к измерению инноваций,

подчеркивая их недостатки и необходимость разработки более комплексных метрик, которые учитывают различные аспекты инновационной деятельности, включая не только традиционные показатели, такие как расходы на НИОКР и количество патентов, но и более широкие факторы, влияющие на инновационные процессы [16]. У. Фрица, Т. Лутмана и Т. Млинаря Авторы анализируют роль государственной помощи в содействии сотрудничеству между университетами и промышленностью. Они подчеркивают важность финансовой поддержки для создания устойчивых партнерств, которые могут способствовать инновациям и развитию новых технологий [17]. Статья использует рамки системы технологических инноваций (TIS) для анализа динамики CCS в Норвегии. Авторы выявляют системные слабости, такие как недостаточная рыночная формация и мобилизация ресурсов, однако отмечают недавние положительные изменения, которые могут способствовать развитию этой области [18]. Авторы [19] предлагают полифункциональный подход к анализу ТИС, который учитывает различные аспекты, влияющие на инновационные процессы в аграрном секторе.

Это включает оценку взаимодействия между различными участниками системы, такими как фермеры, исследовательские учреждения и государственные органы [19]. Работа Юна, Панта и Панта представляет собой важный вклад в область управления информационными системами и технологическими инновациями, предлагая новые подходы к анализу и прогнозированию изменений в этой сфере [20]. Авторы [21] анализируют, как доступность ресурсов влияет на эффективность инновационных систем. Они подчеркивают важность доступа к финансированию, информации и сетям для успешного внедрения инноваций.

В то же время, в научной литературе отсутствуют исследования, посвященные разработке научного обеспечения социо-эколого-ориентированного развития трансграничной инновационной системы в контексте ее эмерджентности, основанного на принципах устойчивости и эффективности социо-эколого-экономического развития и на системе показателей устойчивого развития территорий, в том числе, в условиях цифровой трансформации. Таким образом, настоящее исследование является актуальным и своевременным.

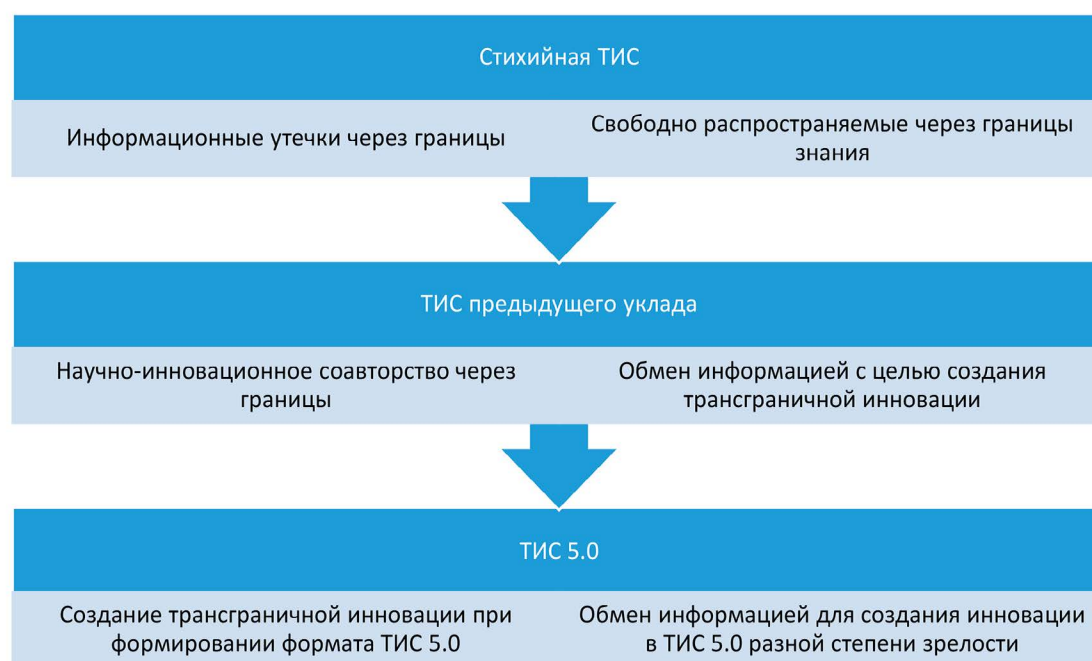


Рис. 1. Типология носителей инноваций

Методы исследования

Проведен обзор существующих исследований, концептуальный подход использован для анализа существующей литературы, сравнительный анализ для выявления общих тенденций и различий в развитии трансграничных инновационных систем, многокритериальный анализ, матричные методы, методы нелинейного моделирования, временные ряды, оптимизационные методы, нормирование, методы теории вероятностей и статистики.

Результаты и обсуждение

Автором предложена типология носителей инноваций, приведенная на рисунке 1.

Разработано численное представление социо-эколого-ориентированного развития трансграничной инновационной системы, основанного на носителе инновации.

$$D_{ESG} = \sum_{i=1}^N (\alpha_i * I_i * P_i * M_i), \quad (1)$$

где

D_{ESG} – индикатор социо-эколого-ориентированного развития трансграничной инновационной системы с позиции типов носителей инноваций,

N – количество носителей инноваций,

α_i – весовой коэффициент для i -го типа носителя инноваций, отражающий его значимость в ТИС, который может быть определен экспертным методом,

I_i – интенсивность взаимодействия i -го типа носителя инноваций, который можно вычислить по формуле (2),

P_i – потенциал устойчивого развития, реализуемый через данный тип носителя инноваций (в разрезе экологического, социального и управленческого), который можно вычислить по формуле (3),

M_i – эффективность социо-эколого-ориентированного развития ТИС, обеспечиваемая данным типом носителя инноваций, который можно вычислить по формуле (4).

$$I_i = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^N K_{ij} * R_{ij}}{N-1}, \quad (2)$$

где

K_{ij} – коэффициент частоты взаимодействия i -го и j -го типа носителей инноваций (например, количество совместных проектов за период),

R_{ij} – коэффициент качества взаимодействия i -го и j -го типа носителей инноваций (например, успешность совместных проектов, измеренная в доле успешных завершений),

N – общее количество типов носителей.

$$P_i = \omega_E * E_i + \omega_S * S_i + \omega_G * G_i, \quad (3)$$

где

E_i – экологический потенциал,

S_i – социальный потенциал,

G_i – управленческий потенциал,

$\omega_E, \omega_S, \omega_G$ – весовые коэффициенты, определяемые экспертным методом, либо при помощи машинного обучения.

$$M_i = \frac{E[\Delta O_i]}{C_i} * \left(1 + \frac{R_i}{R_{max}}\right), \quad (4)$$

где $E[\Delta O_i]$ – ожидаемый прирост результата, рассчитанный с использованием временных рядов или других методов прогнозирования,

C_i – суммарные затраты i -го типа носителя за период (ресурсы, инвестиции, время),

R_i – темп роста результатов,

R_{max} – максимальный темп роста, определяемый для нормирования.

Учёт эмерджентности в формуле социо-эколого-ориентированного развития трансграничной инновационной системы, основанного на носителе инновации позволит учесть качество взаимодействия между носителями инноваций, а не только их собственную значимость.

Такой подход приближает численную модель ТИС к реальным условиям, где эволюционирование системы проходит через создание новых свойств, в том числе, способствующих её эколого-ориентированному развитию. Предложено учитывать влияние эмерджентности на развитие ТИС по формуле. В формуле (5) для различных носителей инноваций интегрирован показатель, отражающий синергетический эффект при взаимодействии разных типов носителей.

$$D_{ESG_emerg} = \sum_{i=1}^N (\alpha_i * I_i * P_i * M_i * \nabla_i), \quad (5)$$

где

∇_i – показатель эмерджентности для i -го типа носителя инноваций, отражающий синергетический эффект его взаимодействия с другими носителями, который зависит от уровня кооперации

между носителями инноваций C_i , вклад i -го типа носителя инноваций в создание качественно новых свойств системы

K_i , а также от сложности системы S_i – способность элементов адаптироваться к изменениям и рассчитывается по формуле (6).

$$\nabla_i = \omega_{em} * \left(C_i * K_i + \frac{1}{1 + e^{-t^i}} * S_i \right), \quad (6)$$

где

t^i – временной лаг до достижения устойчивости нового свойства,

e – основание натурального логарифма, учитывающее нелинейность адаптации,

ω_{em} – весовой коэффициент значимости эмерджентного вклада в социо-эколого-ориентированного развития ТИС и для общей динамики системы, который можно определить на основе исторических данных, экспертных оценок, либо критериев управления системой. Весовой коэффициент указывает на то, имеет ли решающее значение для развития ТИС синергетический эффект и взаимодействие между элементами.

Для учета вероятности формирования зрелой инновации, в зависимости от типа носителя инноваций в модель

введен показатель вероятности $P_{mature,i}$, который показывает вероятность успешного достижения инновационной зрелости в зависимости от типа носителя.

$$\nabla_i = \beta * C_i * K_i * S_i * P_{mature,i}, \quad (7)$$

где $P_{mature,i}$ является функцией таких параметров, как: качество знаний, которое

несет i -ый тип носителя инноваций – Q_i , уровень координации (эффективного взаи-

модействия) элементов ТИС – Co_i , ресурсная обеспеченность для реализации инно-

вации – R_i , институциональная обеспеченность, а также регуляторные и инфраструк-

турные условия – $Inst_i$ по формуле (8):

$$P_{mature,i} = \gamma * \frac{(Q_i * Co_i * R_i * Inst_i)}{1 + \exp(-z_i)}, \quad (8)$$

где

γ – нормирующий диапазон, ограничивающий вероятность в диапазоне $[0,1]$,

z_i – интегральный показатель сложности ТИС, включающий оценку компетенций элементов и состояние внешних факторов.

Вероятность $P_{mature,i}$ интегрирует риски и шансы на успешное достижение зрелости инновацией.

Численным методом определены роль цифровой трансформации в социо-эколого-ориентированном развитии трансграничной инновационной системы. В решении учтены такие параметры как: достигнутое состояние цифровой трансформации (зрелости) системы, потенциал цифровой трансформации системы и динамика цифровой трансформации системы. Найдем вклад в интегральный показатель трансформации i -го типа носителя инноваций

$$D_{digital,i} = \phi_i * (S_i + E_i) * \left(1 + \frac{v_i}{v_{max}} + \frac{\alpha_i}{\alpha_{max}} \right), \quad (9)$$

где

$D_{digital,i}$ – интегральный показатель цифровой трансформации i -го типа носителя инноваций,

S_i – цифровая зрелость ТИС – цифровая инфраструктура, технологии и процессы,

E_i – потенциал цифровой трансформации от i -го носителя инноваций, как функции его инновационного вклада и эмерджентности ТИС,

v_i – темп внедрения цифровых решений,

α_i – рост скорости цифровой трансформации за определенный период времени,

v_{max}, v_{max} – максимальные значения для нормировки,

ϕ_i – коэффициент значимости цифровой трансформации для i -го типа носителя инноваций, который устанавливается экспертно, либо статистическим методом.

Потенциал для цифровой трансформации от i -го носителя инноваций, как функции его инновационного вклада и эмерджентности ТИС определяется по формуле 10

$$E_i = \mu_i \nabla_i, \quad (10)$$

где

∇_i – показатель эмерджентности для i -го типа носителя инноваций, отражающий синергетический эффект его взаимодействия с другими носителями,

μ_i – весовой коэффициент цифрового потенциала для i -го типа носителя инноваций.

Подводя итоги, можно вывести итоговую формулу 11 для социо-эколого-ориентированного развития трансграничной инновационной системы в контексте ее эмерджентности, основанного на принципах устойчивости и эффективности социо-эколого-экономического развития и на системе показателей устойчивого развития территорий, в том числе, в условиях цифровой трансформации

$$D_{ESG_emerdg_digital} = \sum_{i=1}^N (\alpha_i * I_i * P_i * M_i * \nabla_i * D_{digital,i}) * \left(1 + \xi \frac{\sum_{j \neq i} C_{ij}}{N-1} \right), \quad (11)$$

где

$\left(1 + \xi \frac{\sum_{j \neq i} C_{ij}}{N-1} \right)$ – множитель, усиливающий вклад при высоком уровне взаимодействия в ТИС,

ξ – коэффициент усиления вклада за счет эмерджентности.

Для случаев, когда вклад i -го типа носителя инноваций становится значимым только при достижении порогового значения используется пороговая функция в формуле 12:

$$D_{ESG_emerdg_digital} = \sum_{i=1}^N (\alpha_i * I_i * P_i * M_i * \nabla_i * D_{digital,i}) * \left(1 + \xi \frac{\sum_{j \neq i} C_{ij}}{N-1} \right) * \theta(X_i - T), \quad (12)$$

где $X_i = \alpha_i * I_i * P_i * M_i$,

T – пороговое значение, после которого вклад становится существенным.

Для учета нелинейности вкладов носителей инноваций, введем коэффициент и запишем формулу в окончательном виде (13):

$$D_{ESG_emerdg_digital} = \sum_{i=1}^N \frac{(\alpha_i * I_i * P_i * M_i * \nabla_i * D_{digital,i})}{1 + \lambda * (\alpha_i * I_i * P_i * M_i)} * \left(1 + \xi \frac{\sum_{j \neq i} C_{ij}}{N-1} \right) * \theta(X_i - T). \quad (13)$$

Механизм обеспечения социо-эколого-ориентированного развития трансграничной инновационной системы в контексте ее эмерджентности, основанный на принципах устойчивости и эффективности социо-эколого-экономического развития и на системе показателей устойчивого развития

территорий, в том числе, в условиях цифровой трансформации представлен на рисунке 2 (далее – механизм). Механизм включает три блока: 1) ключевые компоненты, 2) этапы реализации, 3) инструменты реализации. Блок «ключевые компоненты механизма» состоит из модулей: принципы устойчивости и эффективности, эмерджентность как основа адаптации и цифровая трансформация. Блок «этапы реализации» включает модули: определение системы показателей устойчивого развития, моделирование взаимодействий, внедрение цифровой платформы, разработка адаптивных инструментов управления, мониторинг и корректировка. Блока «инструменты реализации» включает такие модули как: методы моделирования, цифровые технологии и управленческие методы. Модуль «принципы устойчивости и эффективности» отражает такие целевые ориентиры ТИС, как: минимизация негативного влияния ТИС на окружающую среду, максимизация положительных социальных эффектов, максимизация экономической эффективности. Модуль «эмерджентность как основа адаптации» основывается на таких свойствах системы как: синергетические нелинейные эффекты при совместном использовании ресурсов, совместном функционировании и развитии, а также при вступлении во взаимодействие; способности элементов и компонентов системы реагировать на изменения внешней среды – адаптивности; создания новых качеств и свойств ТИС, в том числе, уникальных характеристик. Модуль «цифровая трансформация» включает: использование цифровой инфраструктуры для мониторинга и анализа показателей устойчивого развития, управления ими в логике интернета вещей и интернета всего; использования цифровых платформ для кооперации и обменов между элементами ТИС; прогнозирования и оценки рисков, основываясь на данных, в том числе, на больших данных. Модуль «определение целевых показателей устойчивого развития» предполагает разработку либо выбор показателей

для мониторинга ключевых аспектов, социальные и экономические показатели; формирование моделей взаимодействия, в том числе, с использованием математического аппарата предложенного выше, с учетом вклада цифровой трансформации и эмерджентности; внедрение цифровой платформы для автоматизации сбора и анализа сведений о показателях устойчивости, визуализации состояния ТИС и ее эмерджентных свойств, управления взаимодействиями между носителями инноваций. Модуль «разработка адаптивных инструментов управления» использует динамические модели для адаптации стратегии системы посредством применения методов машинного обучения для анализа рисков и прогнозирования, оптимизации ресурсного обеспечения на основе текущих данных. Модуль «мониторинг и корректировка» в режиме реального времени отслеживает достижение целей устойчивого социо-эколого-ориентированного развития ТИС с использованием заданных и принятых ключевых показателей эффективности и создает условия для оптимальной корректировки стратегий развития ТИС в динамике. Модуль «методы моделирования» отвечает за поддержку многокритериального анализа для оценки ТИС, агента-ориентированного моделирования для анализа взаимодействий. Модуль «цифровые технологии» предполагает использование интернета вещей для мониторинга экологических показателей, интернета всего для мониторинга социальных показателей, искусственного интеллекта для прогнозирования и оптимизации, блокчейна для прозрачности надежности и достаточного уровня доверительности в учете, управлении ресурсами и реализации трансграничных взаимодействий. Модуль «управленческие подходы» отвечает за принятие решений на основе данных, за разработку автоматизированных распределенных доверительных систем управления принятием решений, а также за государственно-частное партнерство при создании, трансформации и развитии ТИС.

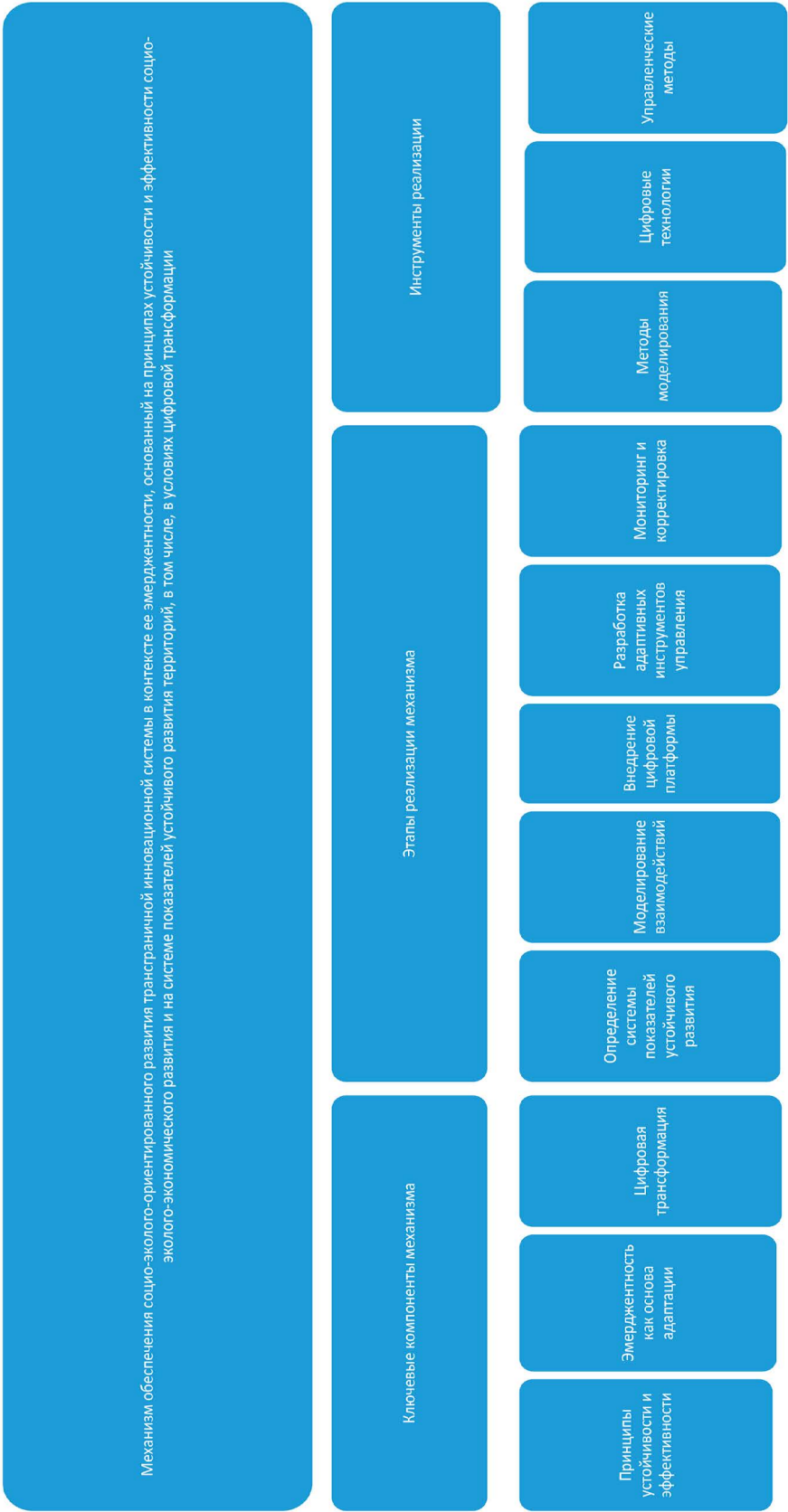


Рис. 2. Механизм обеспечения социо-эколого-ориентированного развития трансграничной инновационной системы в контексте ее эмерджентности, основанный на принципах устойчивости и эффективности социо-эколого-экономического развития и на системе показателей устойчивого развития территорий, в том числе, в условиях цифровой трансформации

Источник: составлено автором.



Рис. 3. Алгоритм обеспечения социо-эколого-ориентированного развития трансграничной инновационной системы в контексте ее эмерджентности, основанный на принципах устойчивости и эффективности социо-эколого-экономического развития и на системе показателей устойчивого развития территорий, в том числе, в условиях цифровой трансформации

Источники: составлено автором.

Алгоритм обеспечения социо-эколого-ориентированного развития трансграничной инновационной системы в контексте ее эмерджентности, основанный на принципах устойчивости и эффективности социо-эколого-экономического развития и на системе показателей устойчивого развития территорий, в том числе, в условиях цифровой трансформации приведен на рисунке 3.

Выводы

Предложенный механизм обеспечения социо-эколого-ориентированного развития трансграничной инновационной системы в контексте ее эмерджентности, основанный на принципах устойчивости и эффективности социо-эколого-экономического развития и на системе показателей устойчивого развития территорий, в том числе, в условиях

цифровой трансформации основан на разработанной в исследовании методологии и описывает концептуальные элементы, принципы и инструменты. Применение механизма должно обеспечить баланс между экономическим ростом, соответствия цифровым трендам и принципам социо-эколого-ориентированного развития, должно увеличить адаптивность ТИС за счет управляемого контроля эмерджентности системы и усиления роли цифровых технологий как катализатора изменений. Алгоритм обеспечения социо-эколого-ориентированного развития трансграничной ин-

новационной системы в контексте ее эмерджентности, основанный на принципах устойчивости и эффективности социо-эколого-экономического развития и на системе показателей устойчивого развития территорий, в том числе, в условиях цифровой трансформации – это четко прописанная последовательность действий, которая позволяет реализовать в реальных условиях предложенные в данном исследовании принципы и пути формирования, трансформации и развития трансграничной инновационной системы, включая трансграничную инновационную систему 5.0.

Библиографический список

1. Мурава-Середа А.В. Трансграничное сотрудничество в еврорегионе «Черное море» в развитии интеграционных процессов: монография. Симферополь: ДИАИПИ, 2013. 266 с.
2. Мурава-Середа А.В., Позаченюк Е.А., Максимова В.Н., Шестакова Л.И., Вишнякова С.П., Калинин И.В. Обеспечение экологической безопасности и рационального природопользования в трансграничных регионах // Региональные геосистемы. 2023. № 47 (4). С. 630-42.
3. Гвоздкова И.А. Математические задачи социо-эколого-ориентированной экономики // Труд и социальные отношения. 2017. № 28 (6). С. 73-84.
4. Гвоздкова И.А. Эколого-ориентированные математические модели управления рисками и обеспечением безопасности // Вестник университета. 2016. № 9. С. 200-207.
5. Яфасов А.Я., Кострикова Н.А. Проблемы трансформации социально-экономических систем в постсovid-19-й экономике // Известия КГТУ. 2020 № (58). С. 193-207.
6. Бараков В.С. Модернизация экономики регионов России: факторы, оценка и мониторинг результатов: автореф. дис. ... канд. экон. наук. Волгоград, 2014. 26 с.
7. Соловьева Т.С. Формирование и развитие региональных социально-инновационных подсистем (на примере субъектов Северо-Западного федерального округа): дис. ... канд. экон. наук, Москва. 2024. 232 с.
8. Костюченко Н.В. Глобальные цепочки добавленной стоимости: эволюция и ключевые этапы развития // Актуальные вопросы общества, науки и образования. 2024 № 56. С. 56-60.
9. Usman M., Khan N., Omri A. Environmental policy stringency, ICT, and technological innovation for achieving sustainable development: Assessing the importance of governance and infrastructure // Journal of Environmental Management. 2024. Vol. 365. P. 121581.
10. Yoon S., Ho JY. Delivering sustainable development via social innovation: Cases of social entrepreneurship in South Korea and Singapore. Sustainable Development. 2024.
11. Salie F., de Jager K. Orthopaedic device innovation in South Africa: case studies exploring the effect of context on knowledge development and exchange // The South African Journal of Industrial Engineering. 2024. Vol. 35 (1). P. 100-114.
12. Spigarelli F., Compagnucci L., Lepore D. Blockchain unlocking collaborative opportunities for environmental sustainability through innovation intermediaries // The Journal of Technology Transfer. 2024. P. 1-36.
13. Kamikawa Y., Brummer M. Cross-national and cross-sectoral dynamics of innovation policies: The case of lithium-ion battery technology for electric vehicles in the US and China // Technological Forecasting and Social Change. 2024. Vol. 201. P. 123021.
14. Bakhuis J., Kamp L.M., Barbour N., Chappin ÉJ. Frameworks for multi-system innovation analysis from a sociotechnical perspective: A systematic literature review // Technological Forecasting and Social Change. 2024. Vol. 201. P. 123266.
15. Van der Loos A., Frenken K., Hekkert M., Negro S. On the resilience of innovation systems // Industry and Innovation. 2024. Vol. 31 (1). P. 42-74.
16. Misra S. Measuring Innovation: Perspectives from Engineering Education and Clean Energy (Doctoral dissertation). University of Washington, 2024.

17. Fric U., Lutman T., Mlinar T. State Aid in Academia-Industry Cooperation: An Overview of the Existing Conditions and Challenges Through the ExSACT Project // CERN IdeaSquare Journal of Experimental Innovation. 2024. Vol. 8 (2). P. 28-32.
18. Steen M., Andersen A.D., Finstad J., Hansen T., Hanson J., Jordal K., Mäkitie T., Nordholm A., Ryghaug M., Santoalha A. CCS technological innovation system dynamics in Norway // International Journal of Greenhouse Gas Control. 2024. Vol. 136. P. 104171.
19. Parra-López C., Reina-Usuga L., Garcia-Garcia G., Carmona-Torres C. Functional analysis of technological innovation systems enabling digital transformation: A semi-quantitative multicriteria framework applied in the olive sector // Agricultural Systems. 2024. Vol. 214. P. 103848.
20. Yoon J., Pant G., Pant S. Discovery of Technological Innovation Systems: Implications for Predicting Future Innovation // Journal of Management Information Systems. 2024. Vol. 41 (1). P. 39-72.
21. John N., Wesseling J.H., Frenken K. The accessibility and applicability of resources in innovation systems: Unpacking systemic problems. Social Change.151:119802.