

**Мурава-Середа Аурика Викторовна**  
Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации  
Юго-Восточная академия (филиал) ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»

### **Конкурентоспособность и эффективность трансграничной инновационной системы 5.0**

**Аннотация.** В развитие концепта трансграничной инновационной системы 5.0. предложено разработать научно-обоснованный подход к оптимизации конфигурации системы, направленной на максимизацию конкурентоспособности и результативности всей системы в целом, а также ее элементов и компонентов в отдельности с учетом сложной сетевой структуры и влияния мультифакторных условий. С этой целью поставлены и решены две оптимизационные задачи, что создает условия для определения конфигурации ТИС 5.0, с тем, чтобы: оптимизировать эффективность управления, оценить и управлять конкурентоспособностью и эффективностью системы и ее элементов/компонентов, обеспечить устойчивое социо-эколого-ориентированное развитие системы. Задачи поставлены в терминах теории графов следующим образом: 1) найти такую конфигурацию графа, при которой значение конкурентоспособности и эффективности системы в целом  $F(G)$  наибольшие одновременно и по-отдельности, принимая во внимание, что стоимость рёбер и вес вершин могут изменяться в зависимости от структуры графа, также может меняться количество вершин и количество рёбер; 2) найти все такие конфигурации графа с заданными начальными значениями вершин и связей, при которых значения конкурентоспособности и эффективности вершины  $F_i$  наибольшие одновременно и по-отдельности, учитывая, что вес и стоимость рёбер могут изменяться, также может меняться количество вершин и количество рёбер. В исследовании предложены алгоритмы решения поставленных оптимизационных задач в контексте ТИС 5.0.

**Ключевые слова:** трансграничная инновационная система 5.0, конфигурация ТИС 5.0, оптимизационная задача, граф, эффективность, конкурентоспособность, алгоритмы решения.

**Murava-Sereda Aurika Viktorovna**  
Financial University under the Government of the Russian Federation  
Southeastern Academy (branch) KFU named after V.I. Vernadsky"

### **Competitiveness and efficiency of the cross-border innovation systems 5.0.**

**Annotation.** In advancing the concept of the Cross-Border Innovation System 5.0, a scientifically grounded approach to optimizing the system's configuration has been proposed. This approach aims to maximize the competitiveness and efficiency of the system as a whole, as well as its individual elements and components, while accounting for the complex network structure and the influence of multifactorial conditions. To achieve this, two optimization problems have been formulated and solved, providing the basis for determining the optimal configuration of CIS 5.0. This ensures: the optimization of management efficiency, the assessment of the competitiveness of the system and its elements/components, and the promotion of sustainable socio-ecological development of the system. The optimization problems are posed in terms of graph theory as follows: Identify a graph configuration  $G$  that maximizes the overall competitiveness and efficiency of the system  $F(G)$ , both simultaneously and individually, considering that edge costs and vertex weights may vary depending on the graph structure, and the number of vertices and edges may also change. Identify all graph configurations with given initial

values for vertices and edges, where the competitiveness and efficiency of individual vertices  $F_i$  are maximized both simultaneously and individually, taking into account that vertex weights and edge costs may change, as well as the number of vertices and edges. The study proposes algorithms for solving the set optimization problems in the context of TIS 5.0.

**Key words:** cross-border innovation system 5.0, CIS 5.0 configuration, optimization problem, graph, efficiency, competitiveness, algorithms.

*Введение.* В работе Мурава—Середа А.В. и Горобец Е.В. «Трансграничные инновационные системы 5.0» был предложен концепт трансграничной инновационной системы 5.0., предполагающий такие особенности, как: гибкость и адаптивность, инклюзивность и диверсификация, транснациональная координация и функционирование в логике промышленных путей. Также было показано, что перевод существующих трансграничных инновационных систем (ТИС) к логике 5.0 влечет необходимость расходования дополнительных ресурсов. В этой связи с позиций целесообразности такого перехода актуальным становятся вопросы эффективности и конкурентоспособности ТИС 5.0, а также ее элементов. Для поиска ответа на эти вопросы обратимся в первую очередь к определению ТИС 5.0., приведенному в упомянутом труде: «Трансграничная инновационная система 5.0 – это такая конфигурация трансграничной инновационной системы, при которой возможно достижение максимального экономического эффекта посредством функционирования в логике промышленных путей, цифровизации и соблюдении принципов человекоцентричности, инклюзии и устойчивого развития самой системы, а также вовлеченных акторов и территорий». В этой работе предложено сфокусироваться на сетевом аспекте организации, существования и устойчивого развития ТИС 5.0 – её конфигурации. Значимыми для исследования и управления конфигурацией являются: экономические условия, социальные аспекты, политические и институциональные факторы, наличие подходящих институциональных условий, выполнение системой условия трансформативной устойчивости, наличие структурных условий для обновления, реконфигурации и развития в логике 5.0. Особенности ТИС 5.0 являются: 1) поддержка инициатив, направленных на создание сетей взаимодействия между различными секторами, новыми и действующими акторами и конечными бенефициарами, 2) умная специализация, 3) конкурентообусловленная интеграция, 4) мультистейкхолдерный подход к управлению, 5) развитие новых промышленных путей: инициирование, ускорение и консолидация, 6) источники и взаимосвязи территориальных рисков, 7) возможные коллективные действия экономических агентов, 8) институты реконфигурации ТИС, 9) эффективная практика динамики инноваций и экоинноваций, 10) создание инклюзивных инновационных экосистем, выступающих компонентами системы, 11) обеспечение условий для сочетания акторных и системных стратегий для эффективного управления процессами изменений, 12) поддержка инициатив, способствующих легитимации новых технологий, 13) адаптивность рамок ТИС – эволюционируют вместе с изменяющимися экономическими условиями и потребностями общества, 14) реализация задачи оптимизации сотрудничества всех участников ТИС и внешнего сотрудничества.

Необходимые инструменты анализа и управления сложными взаимодействиями между различными факторами для конфигурации ТИС 5.0 должны учитывать весь комплекс перечисленных факторов, а также значимость и отношения между элементами и компонентами системы.

*Проблема.* Отсутствие инструментов, позволяющих определить конфигурацию ТИС 5.0, с тем, чтобы: оптимизировать эффективность управления, оценить и управлять конкурентоспособностью и эффективностью системы и ее элементов/компонентов, обеспечить устойчивое социо-эколого-ориентированное развитие системы.

*Гипотеза.* Переход существующих ТИС к логике функционирования ТИС 5.0 при определенной конфигурации системы способен обеспечить максимизацию

конкурентоспособности и эффективности всей системы в целом, а также ее элементов и компонентов в отдельности, несмотря на необходимость несения дополнительных затрат.

*Цель.* Разработать научно-обоснованный подход к оптимизации конфигурации системы, направленной на максимизацию конкурентоспособности и эффективности всей системы в целом, а также ее элементов и компонентов в отдельности с учетом сложной сетевой структуры и влияния мультифакторных условий.

*Задачи:*

- 1) сформулировать оптимизационную задачу в отношении конкурентоспособности и эффективности ТИС 5.0, как системы в целом;
- 2) сформулировать оптимизационную задачу в отношении конкурентоспособности и эффективности отдельных элементов и компонентов ТИС 5.0;
- 3) предложить алгоритм решения оптимизационной задачи в отношении конкурентоспособности и эффективности ТИС 5.0, как системы в целом;
- 4) предложить алгоритм решения оптимизационной задачи в отношении конкурентоспособности и эффективности отдельных элементов и компонентов ТИС 5.0.

*Обзор литературы.* Теме оценке эффективности и конкурентоспособности на микро- мезо- и макроуровне при трансграничных инновационных взаимодействиях посвящено множество исследований. Также представляют интерес работы авторов, посвященные оценке эффективности и конкурентоспособности экономических систем. Некоторые исследования приведены в таблице 1.

Таблица 1. Обзор научных исследований, посвященных эффективности и конкурентоспособности.

Страна	Автор
Россия	Афанасенкова А. В., Волков А. Р. Методологические подходы к исследованию конкурентоспособности социально-экономических систем в контексте устойчивого развития //Стратегии и инструменты управления экономикой: устойчивое развитие и технологическая трансформация. – 2023. – С. 86-90.
Россия	Краковская И. Н. Концепция обеспечения устойчивой конкурентоспособности промышленных кластеров России: основные положения //Экономика, предпринимательство и право. – 2023. – №. 2.
Россия	Гурьянова А. В. Устойчивое развитие социально-экономической системы Российской Федерации. – Общество с ограниченной ответственностью" Издательство Типография" Ариал" Конференция: устойчивое развитие социально-экономической системы Российской Федерации Симферополь, 16–17 ноября 2023 года Организаторы: Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского.
Россия	Аралбаева Г. Г., Берикболова У. Д. Оценка влияния уровня инновационности региона на его конкурентоспособность //Экономика ғылымдары сериясы. – С. 44.
Россия	Гафарлы Г. Н. Основные особенности факторов конкурентоспособности экономики //The 12 th International scientific and practical conference “Scientific progress: innovations, achievements and prospects”(August 21-23, 2023) MDPC Publishing, Munich, Germany. 2023. 254 p. – 2023. – С. 176.
Россия	Батмен Э. М. Конкурентоустойчивость как форма региональной конкурентоспособности //Актуальные вопросы устойчивого развития современного общества и экономики. – 2023. – С. 124-128.
Россия	Клочко М. В. Сетевой подход как инструмент повышения экономической эффективности и конкурентоспособности региона //Экономика, предпринимательство и право. – 2023. – №. 12. – С. 6289.
Россия	Афанасенкова, А. В. Методологические подходы к исследованию конкурентоспособности социально-экономических систем в контексте

Страна	Автор
	устойчивого развития / А. В. Афанасенкова, А. Р. Волков // Стратегии и инструменты управления экономикой: устойчивое развитие и технологическая трансформация : материалы X Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 18 мая 2022 года. – Санкт-Петербург: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский университет ИТМО", 2023. – С. 86-90. – EDN ODDTAV.
Россия	Альбекова, С. А. Системная идентификация категории «национальная конкурентоспособность» / С. А. Альбекова, В. И. Самофалов // Статистика в современном мире: методы, модели, инструменты : материалы IX Международной научнопрактической конференции, Ростов-на-Дону, 28 апреля 2023 года / Ростовский государственный экономический университет. – Ростов-на-Дону: ООО «АзовПринт», 2023. – С. 174-177. – EDN SVGYCY.
Россия	Батмен, Э. М. Конкурентоустойчивость как форма региональной конкурентоспособности / Э. М. Батмен // Актуальные вопросы устойчивого развития современного общества и экономики : сборник научных статей 2-й Всероссийской научно-практической конференции : в 3 т., Курск, 27–28 апреля 2023 года / Финансовый университет при Правительстве РФ; Курская областная Дума; Курская региональная общественная организация Вольного экономического общества России. Том 1. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2023. – С. 124-128. – EDN AАНKVG.
Россия	Клочко, М. В. Сетевой подход как инструмент повышения экономической эффективности и конкурентоспособности региона / М. В. Клочко // Экономика, предпринимательство и право. – 2023. – Т. 13, № 12. – С. 6289-6304. – DOI 10.18334/epp.13.12.120197. – EDN WNAQPO.
США, Гонконг	Bian B., Meier J. M., Xu T. Cross-border institutions and the globalization of innovation. – 2023.
США, Гонконг	Chandra K. et al. Asymmetry in the distribution of benefits of cross-border regional innovation systems: the case of the Hong Kong–Shenzhen innovation system //Regional studies. – 2023. – Т. 57. – №. 7. – С. 1303-1317.
Китай	Wen H., Liu Y., Zhou F. Promoting the International Competitiveness of Small and Medium-Sized Enterprises Through Cross-Border E-Commerce Development //SAGE Open. – 2023. – Т. 13. – №. 4. – С. 21582440231210119.
Франция, Индия, Италия, Англия	Pereira V. et al. Mapping the evolution, current state of affairs and future research direction of managing cross-border knowledge for innovation //International Business Review. – 2023. – Т. 32. – №. 2. – С. 101834.
Китай	Zhang Y., Gao C., Wang J. Financing constraints and innovation performance: The moderating role of the network location of cross-border innovation cooperation among Internet enterprises //European Journal of Innovation Management. – 2023. – Т. 26. – №. 6. – С. 1473-1499.
Республика Бенин	Ahodode B. G. C. Evolution of innovation systems, economic growth, and sustainable competitiveness in Africa //African Journal of Science, Technology, Innovation and Development. – 2023. – Т. 15. – №. 3. – С. 362-375.
	Danylo T., Vitalii Z. Metamorphosis of global competition in uptoday information-innovation conditions //The 7th International scientific and practical conference “Global problems of improving scientific inventions”(October 31–November 03, 2023) Copenhagen, Denmark. International Science Group. 2023. 316 p. – 2023. – С. 60.

Страна	Автор
Китай	Li T., Du D. The evolution of global cross-border R&D investment: A network analysis integrating geographical thinking //Applied Geography. – 2023. – Т. 158. – С. 103027.
Китай	Zhang Y., Gao C., Wang J. Financing constraints and innovation performance: The moderating role of the network location of cross-border innovation cooperation among Internet enterprises //European Journal of Innovation Management. – 2023. – Т. 26. – №. 6. – С. 1473-1499.
Китай	Yang L., Liu J., Yang W. Impacts of the sustainable development of cross-border e-commerce pilot zones on regional economic growth //Sustainability. – 2023. – Т. 15. – №. 18. – С. 13876.
Испания	Amoroso S. et al. Technological relatedness and industrial transformation: Introduction to the Special Issue //The Journal of Technology Transfer. – 2023. – Т. 48. – №. 2. – С. 469-475.

Источник: составлено авторами.

Автор [1] отмечает, что результативность трансграничного сотрудничества прямо связана с интеграционными аспектами трансграничной инновационной системы. Авторы [2] утверждают, что трансграничные процессы при определенной зрелости трансграничного региона могут господствовать в регионе. В работе [3] рассматриваются различные уровни конкурентоспособности — микро-, мезо- и макроуровни, а также факторы, влияющие на её формирование, такие как человеческий, технологический и институциональный. Авторы подчеркивают важность интеграции концепции устойчивого развития в оценку конкурентоспособности. Автор [4] подчеркивает важность разработки концепции, которая обеспечивала бы конкурентоспособность промышленных кластеров на фоне глобальных экономических вызовов. Основное внимание уделяется необходимости интеграции инновационных технологий и устойчивых практик в производственные процессы. Гурьянова [5] предлагает комплексный подход к оценке устойчивого развития, который включает: анализ текущего состояния социально-экономической системы, оценку влияния внешних и внутренних факторов на устойчивость, разработку стратегий для повышения конкурентоспособности и адаптивности системы. Работа Аралбаевой и Берикболовой предоставляет ценные выводы о том, как уровень инновационности может служить основой для повышения конкурентоспособности регионов. Авторы [6] подчеркивают необходимость комплексного подхода к развитию инновационной среды для достижения устойчивого экономического роста. В статье [7] обсуждаются различные методологические подходы к оценке конкурентоспособности, включая: сравнительный анализ - сравнение экономик разных стран или регионов по ключевым показателям, индикаторы конкурентоспособности - использование количественных и качественных индикаторов для оценки состояния экономики. Автор [8] утверждает, что сетевой подход представляет собой эффективный инструмент для повышения конкурентоспособности региона. Он позволяет оптимизировать ресурсы и улучшить управляемость взаимодействующих элементов сети. В статье [9] выделяются несколько ключевых подходов к исследованию конкурентоспособности на микро-, мезо- и макроуровнях, а именно: структурный подход, функциональный подход, матричные методы. В работе [10] выделяются ключевые методологические подходы к оценке национальной конкурентоспособности: использование системного подхода для выявления взаимосвязей между различными компонентами конкурентоспособности, определение и использование различных индикаторов для количественной оценки конкурентоспособности, таких как экономические, социальные и экологические показатели. Автор [11] определяет конкурентоустойчивость как способность региона сохранять и укреплять свои конкурентные позиции на фоне глобальных экономических изменений и вызовов. В статье рассматриваются различные методологические подходы к оценке

конкурентоустойчивости: использование количественных показателей для оценки состояния экономики региона, сравнение с другими регионами для выявления сильных и слабых сторон. Ключко М. В. в статье [12] утверждает, что сетевой подход представляет собой эффективный инструмент, который позволяет регионам адаптироваться к изменениям внешней среды и повышать свою конкурентоспособность. Он основан на использовании взаимосвязей между различными участниками экономики, что способствует оптимизации ресурсов и снижению издержек. Автор [13] исследуют, как двусторонние инвестиционные соглашения (ВИТ) влияют на принятие технологий, их источники и совместные исследования и разработки (НИОКР) между странами-участницами. Вэнь Х., Лю Ю. и Чжоу Ф. рассматривают, как развитие трансграничной электронной коммерции (ТЭК) может способствовать повышению международной конкурентоспособности малых и средних предприятий (МСП). Авторы акцентируют внимание на необходимости разработки стратегий, которые помогут МСП успешно адаптироваться к условиям глобального рынка и использовать возможности, предоставляемые [14]. Перейра В., Бамел У. и Темури Я. исследуют эволюцию и текущее состояние управления трансграничными знаниями для инноваций [15]. Чжан Я., Гао Ч. и Ван Ц. исследуют влияние финансовых ограничений на инновационную производительность интернет-компаний и роль сетевой позиции в трансграничном инновационном сотрудничестве. Авторы утверждают, что компании, находящиеся в более выгодных сетевых позициях, имеют доступ к большему количеству ресурсов и знаний, что способствует повышению их инновационной производительности [16]. Ахододе Б. Г. Ц. исследует эволюцию инновационных систем в Африке и их влияние на экономический рост и устойчивую конкурентоспособность континента, автор акцентирует внимание на необходимости интеграции социальных и экологических аспектов в инновационные стратегии для достижения долгосрочных результатов [17]. Данило Т. и Виталий З. обсуждают изменения в глобальной конкурентоспособности в условиях современного информационно-инновационного развития. Авторы акцентируют внимание на том, что информационные технологии и инновации трансформируют традиционные модели конкуренции и отмечают важность адаптации к новым информационно-инновационным условиям для достижения успеха в глобальной конкурентной среде [18]. Ли Т. и Ду Д. исследуют изменения в глобальных инвестициях в трансграничные исследования и разработки (НИОКР) с помощью сетевого анализа, выявляют взаимосвязи между различными странами и регионами, которые участвуют в трансграничных НИОКР. Авторы подчеркивают важность географического контекста для понимания этих взаимосвязей [19]. Чжан Я., Гао Ч. и Ван Ц. исследуют влияние финансовых ограничений на инновационную производительность интернет-компаний, роль сетевой позиции в трансграничном инновационном сотрудничестве и делают вывод, что компании, находящиеся в более выгодных сетевых позициях, имеют доступ к большему количеству ресурсов и знаний, что способствует повышению их инновационной производительности [20]. Лю Цз. и Ян У. подчеркивают значимость устойчивого развития пилотных зон трансграничной электронной коммерции на экономический рост регионов [21]. Авторы [22] обсуждают концепцию технологической связанности, которая описывает, как взаимосвязи различных технологий и отраслей друг с другом способствуют инновациям и промышленной трансформации.

Как видно, научное сообщество проявляет высокий интерес к вопросам трансграничного инновационного взаимодействия. В то же время, в научной литературе недостаточно исследований, посвященных вопросам комплексного исследования вопросов конкурентоспособности и эффективности трансграничной инновационной системы, вообще, и трансграничной инновационной системы 5.0, в частности. Таким образом, настоящее исследование является актуальным и своевременным.

*Методы исследования.* Авторами проведен обзор существующих исследований, концептуальный подход использован для анализа существующей литературы, сравнительный анализ для выявления общих тенденций и различий в развитии научных

исследований, теория графов применена для решения оптимизационных задач, являющихся целью настоящего исследования.

*Результаты и обсуждение.* Для решения научной проблемы были поставлены две оптимизационные задачи следующим образом. Дан граф, который состоит из  $n$  вершин, являющихся элементами либо компонентами (представляющие собой набор однозначно взаимосвязанных элементов) сложной системы и  $m$  рёбер; рёбра графа показывают взаимодействия между вершинами; вершины конкурируют за связи; стоимость каждого ребра изначально задается экспертным методом; стоимость ребра –  $F(f_0, r, w, el\_cost, v\_cost)$  есть функция от  $f_0$  начального состояния ребра;  $r$  количества других рёбер, соединяющих его вершины; умноженной на  $r$  нормированной на диапазон (экспертно)  $w$  взвешенной суммы  $el\_cost$  стоимостей каждого из этих рёбер; умноженной на 2 нормированной на диапазон (экспертно) взвешенной суммы стоимости его  $v$  вершин. Экспертно устанавливаемый вес ребра зависит от его действующей и возможных ролей в системе. Стоимость каждой вершины  $v\_cost$  изначально задается экспертным методом и далее зависит от изменения ролей других вершин, а также от её действующей и возможных ролей  $R$  (IND, IND<sub>i</sub>, S, competition, donate, ch, C, Str, Inst, L), её  $I$  инновационности и её ESG приверженности принципам устойчивого развития, а также от  $j$  количества связей. Роли зависят от IND - набора промышленных путей, IND<sub>i</sub> - выбора промышленного пути, IND<sub>m</sub> - модели взаимодействия между промышленными путями, S – размера рынка, competition – конкуренции на рынке, donate – финансовой поддержки, ch – вызовов, C – человекоцентричности, Str – качества стратегии, Inst – институциональной зрелости и адаптивности, L – уровня в системе управления).

При этом, существует 6 разных функций зависимости роли от промышленных путей - IND<sub>m</sub> - моделей взаимодействия между промышленными путями:

- конкуренция - разные пути борются за одни и те же ресурсы или рынки,
- сотрудничество - различные пути работают совместно для достижения общих целей,
- взаимное влияние - изменения в одном пути могут инициировать изменения в других,
- создание условий для сотрудничества между различными промышленными путями,
- поддержка инициатив, направленных на обмен знаниями и ресурсами между акторами,
- учет сложных взаимосвязей между различными путями.

Параметрами, требующими исследования, являются конкурентоспособность и результативность. При этом конкурентоспособность необходимо оценивать по формулам в таблице 1 (опционально). Результативность необходимо оценивать по формулам в таблице 2 (опционально).

Оптимизационная задача 1 - найти такую конфигурацию графа, при которой значение конкурентоспособности и результативности системы в целом  $F(G)$  наибольшие одновременно и по-отдельности, принимая во внимание, что стоимость рёбер и вес вершин могут изменяться в зависимости от структуры графа, также может меняться количество вершин и количество рёбер.

Оптимизационная задача 2 – найти все такие конфигурации графа с заданными начальными значениями вершин и связей, при которых значения конкурентоспособности и результативности вершины  $F_i$  наибольшие одновременно и по-отдельности, учитывая, что вес и стоимость рёбер могут изменяться, также может меняться количество вершин и количество рёбер.

*Для решения поставленных задач предложен ряд алгоритмов:*

- 1) алгоритм изменения весов и значений рёбер для решения обеих задач;
- 2) алгоритм изменения весов и значений вершин для решения обеих задач;
- 3) алгоритм учета изменений в процессе оптимизации, а также собственно

4) алгоритм решения оптимизационной задачи 1;

5) алгоритм решения оптимизационной задачи 2.

Алгоритм решения оптимизационной задачи 1:

1) формализация исходных данных – определение начальных параметров графа; установление ограничений - допустимые диапазоны значений параметров и правила изменения графа;

2) определение метрик - выбор формулы для оценки конкурентоспособности из таблицы 1 и эффективности из таблицы 2;

3) формулировка целевой функции с установлением весов метрик;

4) моделирование конфигурации - использование метода генерации случайных графов или использование начальной структуры;

5) определение локальной целевой функции; установление пороговых значений для неэффективных элементов посредством пороговых значений и ранкинга;

6) использование алгоритма изменения графа - удаление/добавление рёбер, изменение веса рёбер и вершин;

7) оптимизация - градиентные методы для непрерывных параметров, генетические алгоритмы для дискретных изменений графа

8) проверка ограничений - финальная конфигурация должна удовлетворять заданным ограничениям.

9) валидация - тестирование модели для проверки устойчивости результатов;

10) документирование результатов.

**Таблица 1. Конкурентоспособность для ТИС 5.0 как сложной системы**

№	Формула	Случай применения	Недостатки
1	<p>Индекс конкурентоспособности на основе связей между агентами Учитывает силу взаимодействий между агентами и их значимость в сети: <math display="block">C_s = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i} \omega_i \omega_j c_{ij}}{\sum_{i=1}^n \omega_i}</math>, где <math>\omega_i</math> – вес (значимость) элемента <math>i</math>, <math>c_{ij}</math> – сила связи между элементами <math>i</math> и <math>j</math>, <math>n</math> – число агентов Чем больше вес агентов и их связи, тем выше конкурентоспособность.</p>	для систем с сильным акцентом на сетевых взаимодействиях	упрощает сложные взаимодействия, не учитывает качественные аспекты взаимодействий
2	<p>Конкурентоспособность на основе ресурсов и инновационного вклада <math display="block">C_s = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i r_i + \beta_i i_i}{\sum_{i=1}^n \omega_i}</math>, где <math>r_i</math> – объем доступных ресурсов у агента <math>i</math>, <math>i_i</math> - вклад агента в инновации, <math>\alpha_i</math> <math>\beta_i</math> - коэффициенты, показывающие значимость ресурсов и инноваций. Учитывается вклад агентов в инновационное развитие системы.</p>	для оценки инновационных систем, где важны ресурсы и инновации	не учитывает внешние факторы, формула линейная
3	<p>Конкурентоспособность на основе центральности графа Используется мера центральности каждого агента в графе: <math display="block">C_s = \frac{\sum_{i=1}^n Centrality(i)}{n}</math>, где <i>Centrality</i> – центральность агента <math>i</math> (например, степень узла, посредничество или собственный вектор), <math>n</math> - общее количество агентов Система конкурентоспособна, если агенты занимают ключевые позиции в сети</p>	для анализа сетей и топологии графа	не учитывает различия в важности агентов, сложность интерпретации для систем с высокой плотностью связей
4	<p>Конкурентоспособность на основе эффективности взаимодействий <math display="block">C_s = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i} \frac{v_i + v_j}{c_{ij}}}{ E }</math>, где <math>v_i</math> <math>v_j</math> – ценность агентов <math>i</math> и <math>j</math> для системы, <math>c_{ij}</math> - стоимость взаимодействия между <math>i</math> и <math>j</math>, <math> E </math> - общее количество рёбер в графе Система конкурентоспособна, если взаимодействия между агентами эффективны.</p>	для эффективности и снижения затрат взаимодействий	не учитывает экономический эффект от внедрения инноваций, оценка "потенциала" инновационности субъективна
5	<p>Интегральная конкурентоспособность системы Объединяет несколько факторов в одном показателе: <math display="block">C_s = \lambda_1 C_{resources} + \lambda_2 C_{innovation} + \lambda_3 C_{connectivity}</math>, где <math>C_{resources}</math> - индекс, связанный с ресурсами агентов, <math>C_{innovation}</math> - индекс инновационной активности агентов, <math>C_{connectivity}</math> - индекс связности графа, <math>\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3</math> - веса каждого из индексов Конкурентоспособность определяется как взвешенная сумма нескольких факторов</p>	универсальна и комбинирует ключевые аспекты системы	возможно дублирование показателей, весовые коэффициенты сложно определить объективно

Источник: составлено авторами.

**Таблица 2. Эффективность для ТИС 5.0 как сложной системы**

№	Формула	Случай применения	Недостатки
1	<p>Индекс эффективности взаимодействий</p> $E_s = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i} \frac{w_i * w_j}{c_{ij}}}{ E }$ <p>где <math>w_i</math> <math>w_j</math> – вес (значимость) агентов <math>i</math> и <math>j</math> для системы, <math>c_{ij}</math> - стоимость взаимодействия между <math>i</math> и <math>j</math>, <math> E </math> - количество рёбер в графе                      Эффективность возрастает, если взаимодействия между ключевыми агентами обходятся дешевле.</p>	нужно учитывать стоимость взаимодействий	переоценка связи между затратами и эффективностью, не учитывает конечный результат взаимодействий (например, создаваемую ценность)
2	<p>Эффективность через ресурсоотдачу</p> $E_s = \frac{\sum_{i=1}^n (p_i - c_i)}{\sum_{i=1}^n r_i}$ <p>где <math>r_i</math> - ресурсы, доступные агенту <math>i</math>, <math>p_i</math> - производительность агента <math>i</math> (выход инноваций или прибыли), <math>c_i</math> - затраты агента <math>i</math> на взаимодействия                      Система эффективна, если производительность превышает затраты относительно вложенных ресурсов</p>	важен баланс затрат и выходов	не учитывает долгосрочные эффекты (например, инвестиции в инфраструктуру), возможно игнорирование внешних условий
3	<p>Эффективность на основе времени достижения целей</p> $E_s = \frac{1}{T * \bar{C}}$ <p>где <math>T</math> - время, необходимое для достижения ключевых целей системы, <math>\bar{C}</math> - средняя стоимость взаимодействий между агентами                      Эффективность выше, если цели достигаются быстрее и дешевле</p>	важно время достижения целей	игнорирует качество достигнутого результата, не учитывает различия между агентами
4	<p>Интегральная эффективность системы</p> $E_s = \alpha E_{resources} + \beta E_{innovation} + \gamma E_{connectivity}$ <p>где <math>E_{resources}</math> - эффективность использования ресурсов, <math>E_{innovation}</math> - эффективность инновационной деятельности, <math>E_{connectivity}</math> - эффективность связей, <math>\alpha, \beta, \gamma</math> - веса, отражающие важность каждого компонента                      Объединяет разные аспекты эффективности для комплексной оценки</p>	для комплексной оценки системы с разными факторами	трудности с объективным выбором весов для каждого аспекта, возможно недостаточное внимание к факторам, не учтённым в базовых компонентах
5	<p>Коэффициент трансформации ресурсов в результат</p> $E_s = \frac{\sum_{i=1}^n O_i}{\sum_{i=1}^n R_i}$ <p>где <math>O_i</math> - выход системы, обеспеченный агентом <math>i</math> (например, прибыль, инновации, социальный эффект), <math>R_i</math> - затраченные ресурсы агентом <math>i</math>                      Система эффективна, если достигает большего выхода при меньших затратах.</p>	оценка коэффициента полезного действия системы	слабая чувствительность к специфике отраслей и видов ресурсов, не различает инновационные и традиционные результаты

Источник: составлено авторами.

*Алгоритм решения оптимизационной задачи 2:*

- 1) определение начальных параметров - выбор целевой вершины и определение её начальных характеристик, определение функции стоимости для вершины и её соседей;
- 2) определение локальной целевой функции; установление пороговых значений для неэффективных элементов посредством пороговых значений и ранкинга;
- 3) динамическое создание условий для изменения графа - расчет конкурентоспособности и эффективности каждой вершины, ребра,
- 4) определение локальных изменений графа - удаление/добавление рёбер вокруг целевой вершины; изменение весов рёбер и стоимости соседних вершин;
- 5) поиск всех конфигураций методом полного перебора в случае малых графов и методом Монте-Карло в случае больших графов.
- 6) сохранение всех конфигураций, удовлетворяющих условиям, установленным критериями отбора;
- 7) построение визуализации для лучших конфигураций;
- 8) документирование результатов.

*Алгоритм изменения весов и значений рёбер для решения обеих задач:*

- 1) получение функции стоимости ребра;
- 2) динамическое обновление параметров - при изменении структуры графа (удаление/добавление рёбер, изменение весов вершин) параметры  $r$ ,  $w$ ,  $el\_cost$  и  $v\_cost$  обновляются в соответствии с текущим состоянием графа; для нормализации и взвешивания используются нормализация на диапазон минимум – максимум и экспертные весовые коэффициенты, заданные для рёбер в зависимости от их ролей;
- 3) динамическое обновление весов - при изменении роли или значения вершины ребра  $v\_cost$  обновляется, что приводит к изменению веса и стоимости ребра.

*Алгоритм изменения весов и значений вершин для решения обеих задач:*

- 1) получение функции стоимости вершины;
- 2) обновление параметров - при изменении количества рёбер, их стоимости и веса, а также ролей соседних вершин, роль вершины может адаптироваться (например, переход от конкуренции к сотрудничеству), что влияет на её стоимость  $v\_cost$ ; количество связей  $j$  автоматически пересчитывается, что также отражается на  $v\_cost$ ;
- 3) получение и контроль модели взаимодействия INDm и роли вершин на основе одной из шести моделей: а) конкуренция увеличивает вес, если соседние вершины борются за одни ресурсы, б) сотрудничество снижает вес рёбер между связанными вершинами, с) взаимное влияние увеличивает стоимость вершин при увеличении значимости соседних вершин, д) создание условий добавляет связи, минимизируя их стоимость, е) поддержка инициатив снижает затраты на взаимодействие, ф) учет сложных связей - взвешенные коэффициенты изменяются пропорционально количеству и важности связей.

*Алгоритм учета изменений в процессе оптимизации:*

- 1) начальная инициализация - всем рёбрам и вершинам присваиваются исходные значения  $f0$  и  $v\_cost$ , определенные экспертным методом;
- 2) итеративное обновление - при каждом изменении структуры графа пересчитываются веса рёбер в зависимости от новых значений  $r$ ,  $w$ ,  $el\_cost$ ,  $v\_cost$ , пересчитываются стоимости вершин  $v\_cost(v)$  с учётом новых ролей  $R$ , изменения  $I$ ,  $ESG$ , и количества связей  $j$ ;
- 3) проверка на устойчивость - изменения проверяются на соответствие ограничениям, параметры нормализуются и взвешиваются повторно;
- 4) реагирование на изменения ролей – при изменении роли вершины, осуществляется каскадное обновление связанных рёбер и соседних вершин.

*Выводы.* Результаты настоящего исследования представляют собой гибкий адаптационный инструмент управления социо-эколого-ориентированным развитием трансграничной инновационной системы 5.0, который практики могут применять как на

этапе планирования дизайна ТИС, так и в процессе управления её развитием. Рекомендуется использовать нелинейные зависимости для расчета стоимости ребер и вершин. Предложенные алгоритмы могут быть дополнены методами машинного обучения для автоматической настройки весов на основе исторических и экспертных данных, использованием угла между векторами ролей для оценки их совместимости, а также скалярного произведения векторов для учета их направлений. Также целесообразно применение глобальных метрик – связанность графа и его центральность для совершенствования глобальной оптимизации всей сети, применение показателей сетевого анализа. Для оптимизации графа может быть использован эвристический подход с этапами: инициализация, оценка приспособленности, скрещивание, мутация и селекция. Искомые метрики конкурентоспособности и эффективности являются начальными условиями изменчивости графа при каждой последующей итерации. Направлениями дальнейших исследований могут стать алгоритмы и способы улучшения структуры графа, комплексная оптимизация, учет временной динамики и влияния внешних факторов, предложение подходов к реализации автоматизации процесса принятия решений.

### Список источников

1. Мурава-Середа А.В. Трансграничное сотрудничество в еврорегионе «Черное море» в развитии интеграционных процессов: монография / А.В. Мурава-Середа – 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):630-42.
3. Афанасенкова А. В., Волков А. Р. Методологические подходы к исследованию конкурентоспособности социально-экономических систем в контексте устойчивого развития //Стратегии и инструменты управления экономикой: устойчивое развитие и технологическая трансформация. – 2023. – С. 86-90.
4. Краковская И. Н. Концепция обеспечения устойчивой конкурентоспособности промышленных кластеров России: основные положения //Экономика, предпринимательство и право. – 2023. – №. 2.
5. Гурьянова А. В. Устойчивое развитие социально-экономической системы Российской Федерации. – Общество с ограниченной ответственностью "Издательство Типография" Ариал" конференция: устойчивое развитие социально-экономической системы Российской Федерации Симферополь, 16–17 ноября 2023 года Организаторы: Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского.
6. Аралбаева Г. Г., Берикболова У. Д. Оценка влияния уровня инновационности региона на его конкурентоспособность //Экономика ғылымдары сериясы. – С. 44.
7. Гафарлы Г. Н. Основные особенности факторов конкурентоспособности экономики //The 12 th International scientific and practical conference “Scientific progress: innovations, achievements and prospects”(August 21-23, 2023) MDPC Publishing, Munich, Germany. 2023. 254 p. – 2023. – С. 176.
8. Ключко М. В. Сетевой подход как инструмент повышения экономической эффективности и конкурентоспособности региона //Экономика, предпринимательство и право. – 2023. – №. 12. – С. 6289.
9. Афанасенкова, А. В. Методологические подходы к исследованию конкурентоспособности социально-экономических систем в контексте устойчивого развития / А. В. Афанасенкова, А. Р. Волков // Стратегии и инструменты управления экономикой: устойчивое развитие и технологическая трансформация : материалы X Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 18 мая 2022 года. – Санкт-Петербург: федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего образования "Национальный исследовательский университет ИТМО", 2023. – С. 86-90. – EDN ODDTAV.

10. Альбекова, С. А. Системная идентификация категории «национальная конкурентоспособность» / С. А. Альбекова, В. И. Самофалов // Статистика в современном мире: методы, модели, инструменты : материалы IX Международной научнопрактической конференции, Ростов-на-Дону, 28 апреля 2023 года / Ростовский государственный экономический университет. – Ростов-на-Дону: ООО «АзовПринт», 2023. – С. 174-177. – EDN SVGYCY.

11. Батмен, Э. М. Конкурентоустойчивость как форма региональной конкурентоспособности / Э. М. Батмен // Актуальные вопросы устойчивого развития современного общества и экономики : сборник научных статей 2-й Всероссийской научно-практической конференции : в 3 т., Курск, 27–28 апреля 2023 года / Финансовый университет при Правительстве РФ; Курская областная Дума; Курская региональная общественная организация Вольного экономического общества России. Том 1. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2023. – С. 124-128. – EDN AАНKVG.

12. Ключко, М. В. Сетевой подход как инструмент повышения экономической эффективности и конкурентоспособности региона / М. В. Ключко // Экономика, предпринимательство и право. – 2023. – Т. 13, № 12. – С. 6289-6304. – DOI 10.18334/epp.13.12.120197. – EDN WNAQPO.

13. Bian B., Meier J. M., Xu T. Cross-border institutions and the globalization of innovation. – 2023.

14. Wen H., Liu Y., Zhou F. Promoting the International Competitiveness of Small and Medium-Sized Enterprises Through Cross-Border E-Commerce Development //SAGE Open. – 2023. – Т. 13. – №. 4. – С. 21582440231210119.

15. Pereira V. et al. Mapping the evolution, current state of affairs and future research direction of managing cross-border knowledge for innovation //International Business Review. – 2023. – Т. 32. – №. 2. – С. 101834.

16. Zhang Y., Gao C., Wang J. Financing constraints and innovation performance: The moderating role of the network location of cross-border innovation cooperation among Internet enterprises //European Journal of Innovation Management. – 2023. – Т. 26. – №. 6. – С. 1473-1499.

17. Ahodode B. G. C. Evolution of innovation systems, economic growth, and sustainable competitiveness in Africa //African Journal of Science, Technology, Innovation and Development. – 2023. – Т. 15. – №. 3. – С. 362-375.

18. Danylo T., Vitalii Z. Metamorphosis of global competition in uptoday information-innovation conditions //The 7th International scientific and practical conference “Global problems of improving scientific inventions”(October 31–November 03, 2023) Copenhagen, Denmark. International Science Group. 2023. 316 p. – 2023. – С. 60.

19. Li T., Du D. The evolution of global cross-border R&D investment: A network analysis integrating geographical thinking //Applied Geography. – 2023. – Т. 158. – С. 103027.

20. Zhang Y., Gao C., Wang J. Financing constraints and innovation performance: The moderating role of the network location of cross-border innovation cooperation among Internet enterprises //European Journal of Innovation Management. – 2023. – Т. 26. – №. 6. – С. 1473-1499.

21. Yang L., Liu J., Yang W. Impacts of the sustainable development of cross-border e-commerce pilot zones on regional economic growth //Sustainability. – 2023. – Т. 15. – №. 18. – С. 13876.

22. Amoroso S. et al. Technological relatedness and industrial transformation: Introduction to the Special Issue //The Journal of Technology Transfer. – 2023. – Т. 48. – №. 2. – С. 469-475.

### **Информация об авторе**

**Мурава-Середа Аурика Викторовна**, к.э.н., доцент, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия; Юго-Восточная академия (филиал) ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», г. Феодосия, Россия

### **Information about the author**

**Murava-Sereda Aurika Viktorovna**, Candidate of Economics, Associate Professor, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia; Southeastern Academy (branch) of the V.I. Vernadsky KFU, Feodosia, Russia