



DOI: <https://doi.org/10.15688/ek.jvolsu.2025.3.7>

UDC 338.28

LBC 65.050.17

Submitted: 21.05.2025

Accepted: 23.06.2025

THE TECHNO-INDUSTRIAL ECOSYSTEM AS A MECHANISM FOR ENSURING THE ECONOMIC SECURITY OF THE PHARMACEUTICAL INDUSTRY

Olga S. Stepchenkova

Saint Petersburg State University of Economics, Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. The pharmaceutical industry is one of the most knowledge-intensive sectors of the economy, where the cost and duration of developing new drugs require effective cooperation models. In the traditional value chain, large pharmaceutical companies dominate suppliers and startups, but current trends in digitalization, artificial intelligence (AI), and biotechnology require the formation of flexible network structures based on ecosystem theory. The techno-industrial ecosystem in the pharmaceutical industry is presented as a concept of an organizational and economic mechanism aimed at ensuring economic security through cooperation, competition and convergence of various technological and industrial areas. Cooperation is a key tool that ensures long-term partnership of pharmaceutical companies with IT companies and biotech companies for technology exchange and the creation of joint R&D centers. Unlike traditional competition in the pharmaceutical industry, based on the dominance of large corporations, participants within the ecosystem do not compete separately, but within the framework of network interactions. Convergence tools are formed in two directions: technological, as the convergence of various branches of pharmaceuticals, bioengineering, artificial intelligence and nanotechnology, and market, as the formation of new markets through the intersection of different industries. The rationale for using the mechanism is based on an analysis of threats to the industry. It is revealed that key threats such as technological dependence, vulnerability of supply chains, personnel shortage and insufficient financing of R&D can be leveled using an ecosystem approach, which has shown its effectiveness using the example of foreign experience and scientific research, the analysis of which is presented in the article. The proposed project of a techno-industrial ecosystem includes pharmaceutical companies, biotech startups, IT companies, research centers, venture funds and government institutions. A mathematical model of the participants' network interaction has been developed, describing the dynamics of innovation potential and the effectiveness of cooperation. The results can be used in the development of import substitution strategies, modernization of the pharmaceutical industry and as measures of state policy in the field of economic security.

Key words: techno-industrial ecosystem, pharmaceutical industry, economic security, economic threats, mechanism of economic security of the industry, convergence of industries, competition, cooperation, innovation potential.

Citation. Stepchenkova O.S. The Techno-Industrial Ecosystem as a Mechanism for Ensuring the Economic Security of the Pharmaceutical Industry. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika* [Journal of Volgograd State University. Economics], 2025, vol. 27, no. 3, pp. 85-96. (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.15688/ek.jvolsu.2025.3.7>

УДК 338.28

ББК 65.050.17

Дата поступления статьи: 21.05.2025

Дата принятия статьи: 23.06.2025

ТЕХНОПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОСИСТЕМА КАК МЕХАНИЗМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Ольга Сергеевна Степченкова

Санкт-Петербургский государственный экономический университет,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Фармацевтическая промышленность – один из наиболее наукоемких секторов экономики, где стоимость и длительность разработки новых препаратов требуют эффективных моделей кооперации. В традиционной цепочке создания стоимости крупные фармацевтические компании доминируют над поставщиками и стартапами, однако современные тенденции цифровизации, развития искусственного интеллекта и биотехнологий приводят к необходимости формирования гибких сетевых структур на основе теории экосистем. Технопромышленная экосистема в фармацевтической отрасли представлена как концепция организационно-экономического механизма, направленного на обеспечение экономической безопасности через кооперацию, конкуренцию и конвергенцию различных технологических и промышленных направлений. Кооперация выступает ключевым инструментом, обеспечивающим долгосрочное партнерство фармкомпаний с IT-компаниями и биотехкомпаниями для обмена технологиями и создания совместных R&D-центров. В отличие от традиционной конкуренции в фармацевтической отрасли, основанной на доминировании крупных корпораций, внутри экосистемы участники конкурируют не отдельно, а в рамках сетевых взаимодействий. Инструменты конвергенции формируются по двум направлениям: технологическом как сближение различных отраслей фармацевтики, биоинженерии, искусственного интеллекта и нанотехнологий, и рыночном как формирование новых рынков за счет пересечения различных отраслей. Обоснование применения механизма строится на анализе угроз отрасли. Выявлено, что ключевые угрозы, такие как технологическая зависимость, уязвимость цепочек поставок, кадровый дефицит и недостаточное финансирование НИОКР могут быть нивелированы с помощью экосистемного подхода, который показал свою эффективность на примере зарубежного опыта и научных исследований, анализ которых представлен в статье. Предложен проект технопромышленной экосистемы включающий фармацевтические компании, биотехнологические стартапы, IT-компании, исследовательские центры, венчурные фонды и государственные институты. Разработана математическая модель сетевого взаимодействия участников, описывающая динамику инновационного потенциала и эффективность кооперации. Результаты могут быть использованы при разработке стратегий импортозамещения, модернизации фармацевтической отрасли и в качестве мер государственной политики в области обеспечения экономической безопасности.

Ключевые слова: технопромышленная экосистема, фармацевтическая промышленность, экономическая безопасность, экономические угрозы, механизм экономической безопасности отрасли, конвергенция отраслей, конкуренция, кооперация, инновационный потенциал.

Цитирование. Степченкова О. С. Технопромышленная экосистема как механизм обеспечения экономической безопасности фармацевтической отрасли // Вестник Волгоградского государственного университета. Экономика. – 2025. – Т. 27, № 3. – С. 85–96. – DOI: <https://doi.org/10.15688/ek.jvolsu.2025.3.7>

Введение

Стратегия экономической безопасности в значительной степени соответствует текущей ситуации в фармацевтической отрасли России, направляя усилия на снижение импортозависимости, развитие внутреннего производства и укрепление технологического суверенитета. Реализация предусмотренных мер будет способствовать повышению устойчивости ФП к внешним и внутренним угрозам, что особенно актуально в напряженной среде современных геополитических и экономических вызовов [Указ Президента РФ от 13.05.2017 № 208 ...]. Однако необходимо отметить, что в российском законодательстве не разработаны и не конкретизированы индивидуальные подходы для обеспечения экономической безопасности различных отраслей.

Стратегия развития фармацевтической промышленности Российской Федерации на период до 2030 г. [Распоряжение Правитель-

ства РФ от 07.06.2023 № 1495-р ...] (далее – Стратегия) определяет ключевые цели государственной политики в сфере фармацевтики. Положения данного документа направлены на ускорение научно-технологического развития, повышение конкурентоспособности отечественных производителей и обеспечение сбалансированного социально-экономического развития регионов. Стратегия не детализирует механизмы интеграции технологий из сопутствующих и смежных отраслей, но следует по пути формирования задач для них от фармацевтической отрасли как заказчика. Необходимо отметить следующие пробелы и области, требующие доработки:

1) отсутствие четких механизмов и регламентов координации между государством, бизнесом, научными учреждениями и образовательными организациями;

2) отсутствие конкретного раздела, посвященного стимулированию венчурных инвестиций в фармацевтическую отрасль;

- 3) недостаточные меры по развитию человеческого капитала отрасли;
- 4) ограниченная поддержка НИОКР;
- 5) ограниченный акцент на цифровизации отрасли.

Фармацевтическая промышленность является стратегической отраслью России, влияющей на национальную безопасность государства. Однако высокая импортозависимость, уязвимость цепочек поставок и слабая интеграция науки и бизнеса создают риски для ее устойчивого развития. Современная фармацевтика имеет дело с вызовами, связанными с ростом затрат на исследования и разработки, необходимостью цифровизации, усилением глобальной конкуренции и зависимостью от зарубежных технологий [Головкин, 2024]. Высокая зависимость российской фармацевтики от иностранных локализованных производств подчеркивает ее уязвимость перед лицом повсеместной цифровой и технологической трансформации.

В Индустрии 4.0 и следующих этапах трансформации промышленности возрастает роль цифровых технологий, AI и биоинженерии, которые определяют векторы развития технопромышленных экосистем и меры подготовки к будущим изменениям [Schwab, 2016]. Цифровые платформы становятся ключевыми элементами современных отраслевых рынков. Концепция Индустрии 6.0 является относительно новой и пока не получила широкого освещения в научной литературе. Концепция Индустрии 6.0 продолжает развитие предыдущих индустриальных парадигм и фокусируется на человекоцентричности, био- и нейротехнологиях, когнитивных системах, квантовых вычислениях и гиперперсонализированных производственных процессах [Бабкин и др., 2024б]. В отличие от Индустрии 4.0, ориентированной на цифровизацию и киберфизические системы, и Индустрии 5.0, которая добавляет принципы устойчивого развития и взаимодействия человека с машиной, Индустрия 6.0 нацелена на глубокую интеграцию искусственного интеллекта, биоинженерии и автономных систем в производственные экосистемы [Степченкова, 2023].

Развитие индустрий будущего требует экосистемного подхода, обеспечивающего устойчивость производства, цифровую транс-

формацию и управление рисками в условиях смены технологических укладов [Perez, 2002]. Формирование взаимосвязанных сетей взаимодействующих предприятий в соответствии с технологическими сетями 5–6-го технологических укладов предложены С.Ю. Глазьевым в качестве мер по решению задач Стратегии научно-технологического развития России [Глазьев, 2024]. В работе Л.А. Кузьминой анализируется содержание и направленность концепции Индустрии 4.0, а также обсуждается необходимость новой индустриализации для осуществления технологического рывка в России [Кузьмина, 2021].

Объекты и методы исследования

Объектом исследования является фармацевтическая промышленность России в контексте обеспечения ее экономической безопасности. Предметом исследования выступают организационно-экономические механизмы управления экономической безопасностью фармацевтической отрасли в условиях ее цифровой и технологической трансформации как вызовов стратегической важности. Цель исследования – обоснование технопромышленной экосистемы как механизма обеспечения экономической безопасности фармацевтической отрасли.

Задачи исследования: 1) сформировать теоретическую базу для экосистемного подхода в обеспечении экономической безопасности и изучить практический опыт; 2) оценить возможности технопромышленной экосистемы для предотвращения угроз экономической безопасности в фармацевтической отрасли; 3) разработать рекомендации по моделированию и прогнозированию развития ТПЭ.

В процессе исследования применялись методы анализа и синтеза, проведено изучение научных публикаций и нормативно-правовой базы, а также математическое моделирование.

Результаты и обсуждение

Теоретические основы и зарубежный опыт экосистемного подхода в промышленности. Концепция экосистем в экономике описывает взаимодействие предприятий, научных центров и государства в рамках единого

инновационного пространства. Экосистемы в экономике описываются как гибкие сети взаимодействий между бизнесом, наукой и государством, которые повышают результативность инновационных процессов и уровень устойчивости отраслей. Дж.Ф. Мур ввел понятие «бизнес-экосистем», рассматривая их как динамичные сообщества организаций, описал присущие ей механизмы кооперации и конкуренции [Moore, 1993]. Экосистемный подход позволяет ускорить трансфер технологий, повысить гибкость цепочек поставок и снизить риски зависимости от импортных технологических решений, что обуславливает его актуальность в условиях высокого уровня импортозависимости ФП России. Г. Чезборо разработал концепцию открытых инноваций, показал как экосистемы позволяют предприятиям и отраслям быстрее адаптироваться к рыночным изменениям [Chesbrough, 2003]. Р. Аднер рассматривает архитектуру экосистемных связей с акцентом на стратегическое управление в экосистемах [Adner, 2017].

Намерения отдельных экономик мира, например Финляндии, перейти к Индустрии 6.0 обозначили новый виток в практике промышленных экосистем [Степченкова, 2023]. В Китае перспективным подходом является формирование взаимопроникающих технопромышленных экосистем, которые способствуют

укреплению экономической безопасности и повышению конкурентоспособности промышленности. Взаимопроникающие технопромышленные экосистемы представляют собой сети, в которых различные отрасли и технологии переплетаются, создавая взаимовыгодные связи (см. рисунок). Такой подход позволяет использовать достижения смежных сфер для ускорения инноваций и оптимизации производственных процессов. Китай развивает взаимопроникающие технологические экосистемы, где успех в одной отрасли способствует прогрессу в смежных [China's ...]. Исследования показывают, что цифровые технологии и структура промышленности играют решающую роль в определении места Китая на мировом рынке экспортной продукции [Бабкин и др., 2024a]. Компании, входящие в такие экосистемы, извлекают главную выгоду из синергии со стороны предложения и спроса, которая может быть увеличена за счет взаимодополняемости продуктов и услуг [Магомаева и др., 2023].

Успех Китая в сфере производства электромобилей сегодня – это на самом деле результат сильных позиций Китая в ряде смежных отраслей, некоторые из них «выросли» вместе с китайской индустрией электромобилей. Китай уделяет внимание своей индустрии бытобы продавать автомобили, а использует

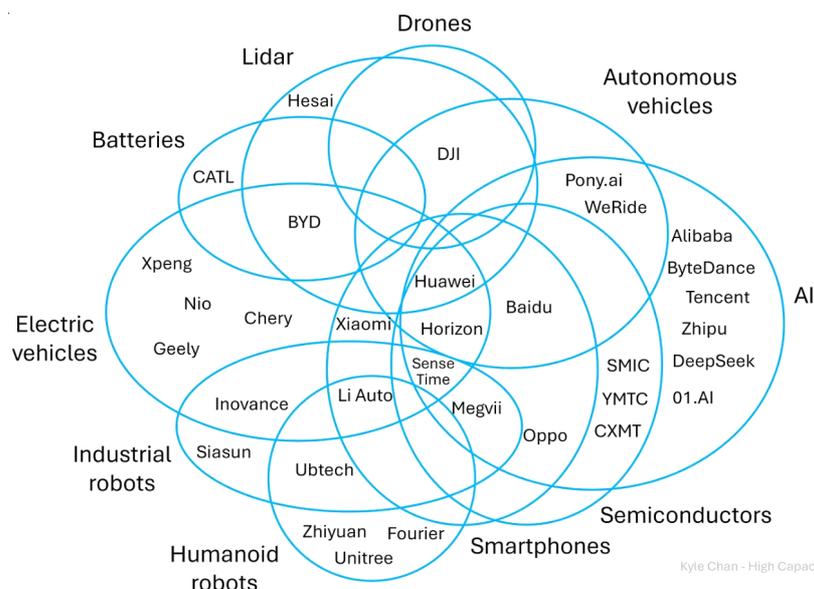


Рисунок. Пересекающиеся отрасли промышленности КНР

Figure. China's overlapping industries

Примечание. Составлено на основе: [China's ...].

ключевой промышленный узел для продвижения прогресса в целой сети взаимосвязанных отраслей – так же, как железные дороги исторически считались движущей силой промышленного развития.

Процессы взаимопроникновения отраслей осуществляются с помощью цифровых технологий, обуславливающих явление конвергенции. В статье [Бабкин и др., 2023] проведен анализ развития цифровой конвергенции в России и Китае, который показывает более высокий темп цифровизации промышленности в Китае благодаря активной государственной поддержке и неравномерное развитие цифровых экосистем в России, требующее системной поддержки и финансирования.

В статье [Дятлов и др., 2020] рассматривается конвергенция отраслей как процесс слияния технологий, сервисов и рыночных сегментов, определены этапы конвергенции: ранняя стадия – начало межотраслевого сотрудничества, стратегические альянсы промышленных компаний и ИТ-сектора; средняя стадия – формирование новых бизнес-моделей (развитие цифровых платформ для R&D); поздняя стадия – полное слияние отраслей и формирование устойчивых экосистем, где границы между ними размыты. Ключевую роль в отраслевой конвергенции играют цифровые платформы и большие данные как основа цифровых экосистем для управления цепочками поставок. Авторы выделяют два ключевых вида конвергенции, которые, интерпретируя в рамках фармацевтической отрасли, можно представить как: технологическую – использование общих платформ (например, AI + фармацевтика, геномная инженерия + нанотехнологии) и рыночную – создание новых межотраслевых продуктов (например, персонализированная медицина на базе AI, цифровые двойники пациентов). Гибкие формы сотрудничества (альянсы, совместные предприятия, слияния и поглощения) выступают как инструменты управления конвергенцией. Компании, сталкивающиеся с конвергенцией отраслей, испытывают нехватку новых компетенций, что можно отметить в качестве недостатка процесса сближения отраслей. По нашему мнению, данная проблема может быть решена за счет интеллектуального и ресурсного потенциала образующихся в экосистеме партнерских сетей.

В работе [Минаков, 2018] рассматривается конвергенция нано-, био-, когни-, инфотехнологий (НБИК) как движущая сила цифровой экономики, подчеркивается, что конвергенция технологий создает дополнительную экономическую ценность, превышающую сумму отдельных эффектов. Конвергенция технологий ведет к изменению традиционных моделей конкуренции и кооперации, развитию новых форм партнерства, вызывает волновой рост деловой активности и формирование новых промышленных укладов.

В исследовании [Бабкин и др., 2023] рассматривается взаимопроникновение цифровых технологий и традиционной индустрии как ключевой механизм модернизации промышленности. Экономическая ценность конвергенции заключается в снижении трансакционных издержек за счет цифровизации взаимодействия между компаниями, ускорению инновационного цикла благодаря сквозным технологиям, повышению гибкости производственных цепочек за счет цифровых двойников и платформенных решений. В статье представлена методика оценки уровня цифровой индустриализации и промышленной цифровизации, которая может быть адаптирована для анализа новых моделей промышленных экосистем. Основные индикаторы методики отражают такие признаки конвергентности как развитие цифровой инфраструктуры (AI, облачные вычисления, цифровые платформы); уровень интеграции цифровых технологий в традиционное производство (биотехнологии, автоматизированные лаборатории); количество межотраслевых кооперационных проектов.

Фармацевтическая отрасль, как один из наиболее наукоемких секторов, уже сегодня испытывает влияние этих процессов (например, в России и за рубежом ведется поиск новых лекарственных формул с помощью ИИ), что подчеркивает актуальность экосистемного подхода как перспективного инструмента перехода к Индустрии 6.0 и обеспечения экономической безопасности.

ТПЭ как механизм предотвращения угроз экономической безопасности фармацевтической отрасли России. Создание ТПЭ в фармацевтической отрасли способно решить ключевые проблемы экономической безопасности, связанные с технологической зависимостью,

производственной уязвимостью, кадровым дефицитом, переходом экономики к новым технологическим укладам и финансовыми рисками. Рассмотрим основные факторы формирования угроз экономической безопасности ФП и пути их решения через ТПЭ (табл. 1).

Формирование ТПЭ в фармацевтике России требует вовлечения ключевых игроков из разных сегментов – от фармацевтических производителей до IT-компаний, разработчиков AI и биотехнологий, а также госкорпораций и исследовательских центров (см. табл. 2).

Моделирование технопромышленной экосистемы. В качестве инструмента моделирования и определения эффективности экосистемного подхода в ФП предлагаем использовать математический метод на основе тео-

рии графов. Взаимодействие субъектов опишем через взвешенный граф, где вершины V – это субъекты ТПЭ, ребра E – это связи между субъектами экосистемы, характеризующие уровень их взаимодействия. Вес ребер W_{ij} отражает интенсивность кооперации (например, объем совместных инвестиций, проектов, публикаций). Таким образом, экосистема моделируется графом:

$$G = (V, E, W), \quad (1)$$

где $W_{ij} = f(I_{ij}, R_{ij}, D_{ij})$ и I_{ij} – объем инвестиций между субъектами; R_{ij} – количество совместных исследований; D_{ij} – степень цифровой интеграции.

Динамика развития ТПЭ определяется через систему дифференциальных уравнений, отражающих инновационный потенциал компаний:

Таблица 1. Решение проблем экономической безопасности фармацевтической отрасли инструментами технопромышленной экосистемы

Table 1. Solving the problems of economic security of the pharmaceutical industry with the tools of the techno-industrial ecosystem

Факторы угроз	Экономические угрозы	Как ТПЭ решает проблему?
Технологическая зависимость [Костин и др., 2025]	Импортозависимость от зарубежных API и технологий; лицензионные ограничения на ключевые молекулы; недостаток отечественного биотеха	ТПЭ стимулируют локальное производство API (синтетическая биология, биоинженерия); интеграция AI и квантовых вычислений для ускоренной разработки новых лекарств; создание консорциумов фарм + биотех + IT для генерации отечественных технологий
Производственная уязвимость [Клунко и др., 2021]	Недостаток мощностей для полного цикла производства лекарств; отставание в автоматизации и цифровизации; дефицит GMP-сертифицированных заводов	Роботизация фармацевтического производства и создание цифровых фабрик на базе ТПЭ; масштабирование биотехнологических стартапов через интеграцию с промышленными игроками; развитие гибких производственных сетей, объединяющих компании в рамках единой цифровой инфраструктуры
Кадровый дефицит и «утечка мозгов» [Нехватка кадров ...; Коваленко и др., 2020]	Недостаток R&D-специалистов в области фармацевтики, биотеха, AI; нехватка и отток научных кадров за рубеж; слабая интеграция науки и бизнеса	ТПЭ создают экосистему взаимодействия университетов, R&D-центров и промышленности; формирование венчурных фондов ТПЭ для финансирования молодых ученых; программы «умной ротации кадров» между фармкомпаниями, IT и биотехом
Финансовые риски и недоинвестирование [Коваленко и др., 2020; Балковая, 2021]	Низкий уровень частных инвестиций в фарм-биотех; высокие риски для фармацевтических стартапов; недостаток инструментов для долгосрочного финансирования	Создание специализированных венчурных фондов внутри ТПЭ; госконтракты и долгосрочные инвестиционные соглашения между фармкомпаниями и государством; использование цифровых платформ для ускоренного привлечения инвесторов (краудинвестинг, токенизация R&D)
Риски стратегической зависимости [Каронский и др., 2023, Субботина и др., 2024]	Критическая зависимость от импорта лекарств и вакцин; отсутствие отечественного производства критически важных препаратов; угрозы санкционного давления	Формирование стратегических фармацевтических альянсов в рамках БРИКС; локализация ключевых производств API, биопрепаратов, вакцин; гибридное импортозамещение через кооперацию фарм, IT и биотех-компаний внутри ТПЭ

Примечание. Разработано автором.

$$\frac{dC_i}{dt} = \alpha \sum_j W_{ij} C_j - \beta C_i, \quad (2)$$

где C_i – инновационный потенциал компании i ; W_{ij} – уровень взаимодействия компании i с другими субъектами экосистемы; α – коэффициент передачи знаний; β – коэффициент устаревания технологий.

Формула (2) показывает, что развитие инновационного потенциала компании зависит от кооперации с другими участниками (чем больше связей, тем выше рост).

Для оценки эффективности ТПЭ введем интегральный показатель:

$$E_{\text{ТПЭ}} = \sum_{ij} W_{ij} U_{ij}, \quad (3)$$

где U_{ij} – полезность взаимодействия для обоих участников. Если $E_{\text{ТПЭ}}$ превышает пороговое значение, экосистема считается жизнеспособной. Пороговое значение устанавливается экспертным путем или на основе анализа наблюдений.

Для демонстрации применимости предложенной методики оценки цифровой

индустриализации и эффективности ТПЭ в условиях ограниченного доступа к официальной отраслевой статистике была проведена апробация на гипотетических данных. В качестве участников экосистемы рассмотрены три актора: фармацевтическая компания (Pharma) – узел 1, биотехнологическая компания (Biotech) – узел 2 и IT-компания (IT) – узел 3, между которыми существуют инвестиционные, научно-исследовательские и цифровые связи (см. табл. 3). Уровень взаимодействия компании i с другими субъектами экосистемы определим по формуле (4).

$$W_{ij} = w_1 I_{ij} + w_2 R_{ij} + w_3 D_{ij}. \quad (4)$$

Проведем подбор весовых коэффициентов (5). Весовые коэффициенты (0,5; 2 и 10) выбраны по 10-балльной шкале с учетом таких соображений:

– инвестиции (в млн руб.) получают меньший вес, потому что они часто являются

Таблица 2. Проект технопромышленной экосистемы в фармацевтике России

Table 2. The project of a techno-industrial ecosystem in the pharmaceutical industry of Russia

Категория	Примеры организаций	Основные функции в ТПЭ
Фармацевтические производители (Big Pharma РФ)	Р-Фарм, Биокад, Генериум, Фармасинтез, Нанолек	Лидеры отрасли, производящие лекарственные препараты, инвестирующие в биофарму и клеточные технологии
Госкорпорации	Ростех, Роснано, ВЭБ.РФ	Финансирование прорывных разработок, инвестирование в глубокие технологии, обеспечение взаимодействия с государством
IT-компании и AI-разработчики	Яндекс, Сбер AI, Газпромбанк AI, VisionLabs	Разработка алгоритмов машинного обучения и AI для предсказательного моделирования лекарств, цифровых двойников пациентов
Биотехнологические компании и стартапы	БИОСАД, Helix, Genotek, Атлас, 3D Bioprinting Solutions	Разработка новых методов синтеза лекарств, генной инженерии, персонализированной медицины, органоидных моделей
Производители микроэлектроники и квантовых решений	МЦСТ, Микрон, КБ Пантеон, ЦКБ Технологии	Разработка процессоров и чипов для медицинских AI-систем, квантовых симуляторов для фармакологии
Робототехника и автоматизация	Калашников (роботизированные лаборатории), СКБ Спектр	Разработка роботизированных лабораторий, автоматизация фармацевтического производства
Медицинские платформы и цифровые сервисы	СберЗдоровье, Doc+, BestDoctor	Интеграция цифровых платформ, сбор и анализ данных о пациентах для персонализированной терапии
Исследовательские институты	Сколтех, Курчатовский институт, ФИЦ Биотехнологий РАН	Разработка новых биотехнологий, AI-алгоритмов для медицины, молекулярной диагностики
Государственные регуляторы и фонды	Минздрав, Минпромторг, РФПИ, Фонд Сколково	Создание условий для кооперации между участниками ТПЭ, финансирование инновационных проектов

Примечание. Разработано автором.

индикатором наличия связи, но не гарантируют инновационного результата сами по себе – отсюда 0,5;

– совместные НИОКР (ед.: например, проекты, публикации, патенты) дают более прямой вклад в совместное знание и технологии, поэтому примем 2;

– цифровая интеграция (от 0 до 1), например, совместимые платформы, автоматизация, которые критически важны для ТПЭ – особенно в фарме и биотехе – и создают условия для масштабируемости и устойчивости, поэтому установим наибольший вес – 10.

$$W_{ij} = 0,5I_{ij} + 2R_{ij} + 10D_{ij} \quad (5)$$

На практике весовые коэффициенты будут установлены экспертным путем или на основе анализа наблюдений. Результаты расчета уровня взаимодействий представлены в таблице 3.

Введем начальные значения инновационного потенциала: $C_1(0) = 100$; $C_2(0) = 80$; $C_3(0) = 90$; и коэффициенты $\alpha = 0,01$, $\beta = 0,05$; примем за шаг $\Delta t = 1$. Проведем расчет прироста инновационного потенциала для каждого узла по формуле (2):

1) для узла 1:

$$\sum_j W_{1j}C_j = W_{12}C_2 + W_{13}C_3 = 35 \cdot 80 + 19 \cdot 90 = 4510$$

$$\frac{dC_1}{dt} = 0,01 \cdot 4510 - 0,05 \cdot 100 = 45,1 - 5 = 40,1$$

$$C_1(1) = 100 + 40,1 = 140,1;$$

2) для узла 2:

$$\sum_j W_{2j}C_j = W_{12}C_1 + W_{23}C_3 = 35 \cdot 100 + 27 \cdot 90 = 5930$$

$$\frac{dC_2}{dt} = 0,01 \cdot 5930 - 0,05 \cdot 80 = 59,3 - 4 = 55,3$$

$$C_2(1) = 80 + 55,3 = 135,3;$$

3) для узла 3:

$$\sum_j W_{3j}C_j = W_{13}C_1 + W_{23}C_2 = 19 \cdot 100 + 27 \cdot 80 = 4060$$

$$\frac{dC_3}{dt} = 0,01 \cdot 4060 - 0,05 \cdot 90 = 40,6 - 4,5 = 36,1.$$

Результаты расчетов представим в таблице 4.

Проведем расчет интегральной эффективности по формуле (3), допустив полезность $U_{ij} = 1$ для всех связей, тогда:

$$E_{ТПЭ} = \sum_{i,j} W_{ij} U_{ij} = 35 + 19 + 27 = 81.$$

На практике для должен быть установлен порог, который будет показывать уровень жизнеспособности и эффективности экосистемного подхода.

Подводя итоги, можно сказать, что даже на гипотетических данных методика выполняет свое назначение: позволяет построить взвешенный граф связей с расчетом W_{ij} , смоделировать прирост инновационного потенциала участников, а целевой индикатор $E_{ТПЭ}$ позволяет судить о «жизнеспособности» экосистемы. Проведенное численное моделирование, основанное на гипотетических данных, показывает, что предложенная методика позволяет не только количественно описать

Таблица 3. Заданные параметры взаимодействий и расчет уровней взаимодействия

Table 3. Set interaction parameters and calculation of interaction levels

Пара узлов	I_{ij}	R_{ij}	D_{ij}	W_{ij}
1–2	40	4	0,7	35
1–3	20	2	0,5	19
2–3	30	3	0,6	27

Примечание. Разработано автором.

Таблица 4. Прирост инновационного потенциала участников экосистемы

Table 4. Growth of the innovation potential of ecosystem participants

Участник	$C_i(0)$	$C_i(1)$	$\frac{dC_i}{dt}$
1 (Pharma)	100	140,10	40,1
2 (Biotech)	80	135,30	55,3
3 (IT)	90	126,10	36,1

Примечание. Разработано автором.

структуру взаимодействий в ТПЭ, но и дать обоснованный ответ на вопрос об ее эффективности. Рост инновационного потенциала участников указывает на то, что создание и развитие ТПЭ в фармацевтической отрасли России является потенциально эффективным механизмом обеспечения экономической безопасности. Каждый участник получил прирост инновационного потенциала (то есть способность к генерации и внедрению новых знаний, продуктов, процессов). Прирост произошел не изолированно, а именно за счет взаимодействий с другими участниками, что выражено через веса связей W_{ij} . Чем больше связей и чем они сильнее связи, тем выше сумма $W_{ij}C_j$. Даже с учетом «естественного» снижения ($-\beta C_i$) инновационный потенциал вырос у всех. Рост всех C_i доказывает, что ТПЭ работает как механизм усиления участников. В формуле (2) заложен как механизм роста – положительный член $W_{ij}C_j$, так и отрицательный член ($-\beta C_i$), который описывает естественное убывание потенциала: устаревание технологий, отток ресурсов и знаний – типичные угрозы экономической безопасности не только для российской фармотрасли, но и для других стран и отраслей. Потенциал экосистемы будет снижаться, если компании плохо интегрированы (низкие значения W_{ij}), партнеры слабы (низкие значения C_j), либо коэффициент β слишком высок (технологии устаревают быстрее, чем восполняются).

Апробация показывает, что при реальных рыночных значениях параметров фармацевтической отрасли методика позволит обосновать эффективность ТПЭ как инструмента повышения отраслевой экономической безопасности, а также выявить ее слабые звенья. Моделирование на основе гипотетических данных и системы взаимодействий типичных участников фармацевтической ТПЭ показало, что при наличии устойчивых кооперационных связей, включающих совместные инвестиции, научные исследования и цифровую интеграцию, инновационный потенциал участников способен к росту, с повышением совокупной эффективности экосистемы. Проведенные расчеты позволяют обоснованно заключить, что при целенаправленном институциональном и технологическом сопровождении ТПЭ в России может быть эффективным инструмен-

том укрепления отраслевой экономической безопасности.

Для прогнозирования развития ТПЭ можно использовать агентное моделирование при условиях, что компании принимают решения о сотрудничестве на основе выгоды, инвесторы вкладывают средства в компании с высоким инновационным потенциалом, государство корректирует взаимодействия через гранты и субсидии. Такой подход позволит смоделировать различные сценарии развития ТПЭ, включая влияние санкций, кризисов и новых технологий. Также модель можно использовать для оптимизации взаимодействий, прогнозирования инновационного роста и совершенствования государственной стратегии поддержки фармотрасли.

Выводы

В ходе исследования обоснована технопромышленная экосистема как ключевой механизм обеспечения экономической безопасности фармацевтической отрасли. Анализ современных вызовов показал, что высокая импортозависимость, технологические барьеры, разрывы цепочек поставок и недостаточное финансирование НИОКР представляют существенные угрозы для устойчивого развития фармацевтики. В этих условиях экосистемный подход позволяет оптимизировать взаимодействие между научно-исследовательскими организациями, производственными предприятиями, IT-компаниями и государственными институтами, создавая гибкую и саморазвивающуюся структуру.

В рамках решения первой задачи сформирована теоретическая база экосистемного подхода, подтвержденная анализом международного опыта. Исследования показали, что индустриальные экосистемы повышают устойчивость отраслей, снижая транзакционные издержки и ускоряя коммерциализацию инноваций, что подтверждает эффективность сетевой модели для долгосрочного развития фармацевтического сектора.

По второй задаче оценены возможности ТПЭ в нейтрализации угроз экономической безопасности. Выявлено, что технопромышленная экосистема способствует локализации производства активных фармацевтических ингредиентов

(АФИ), сокращению зависимости от внешних поставок и расширению финансирования за счет венчурных инвестиций и государственно-частных партнерств. Кроме того, сетевой характер ТПЭ обеспечивает быструю адаптацию к кризисам, перераспределяя ресурсы и научные разработки внутри системы.

Решение третьей задачи позволило разработать рекомендации по моделированию и прогнозированию развития ТПЭ. Применение графовых методов и дифференциального моделирования позволит количественно оценить влияние кооперации на динамику инновационного роста. Для успешного создания ТПЭ в фармацевтике России необходимо формирование специализированных программ поддержки межотраслевых экосистем, что можно рассматривать как направление дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бабкин, А. В. Методика оценки конвергентности цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации в условиях Индустрии 4.0 и 5.0. / А. В. Бабкин, Е. В. Шкарупета, Л. В. Ташенова // *p-Economy*. – 2023. – № 16 (5). – С. 91–108. – DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16507>
- Бабкин, А. В. Влияние цифровой экономики на развитие высокотехнологичной промышленности Китая в условиях Индустрии 5.0 / А. В. Бабкин, Ч. Лэйфэй, Д. Хайци // *Естественно-гуманитарные исследования*. – 2024а. – № 2 (52). – С. 38–43.
- Бабкин, А. В. Индустрия 6.0: сущность, тенденции и стратегические возможности для России / А. В. Бабкин, Е. В. Шкарупета // *Экономика промышленности*. – 2024б. – Т. 17, № 4. – С. 353–377. – DOI: [10.17073/2072-1633-2024-4-1369](https://doi.org/10.17073/2072-1633-2024-4-1369)
- Балковая, А. С. Механизмы финансирования фармацевтических инноваций в Российской Федерации: проблемы и перспективы / А. С. Балковая // *Экономика и бизнес: теория и практика*. – 2021. – № 5-1. – С. 41–45.
- Глазьев, С. Ю. Состояние и перспективы формирования 6-го технологического уклада в российской экономике / С. Ю. Глазьев, Д. Л. Косакин // *Экономика науки*. – 2024. – № 10 (2). – С. 11–29. – DOI: <https://doi.org/10.22394/2410-132X-2024-10-2-11-29>
- Головко, С. М. Особенности цифровизации бизнес-процессов фармацевтического бизнеса в условиях турбулентности и оценка их эффективности с учетом цифровизации / С. М. Головко // *Вестник евразийской науки*. – 2024. – Т. 16, № 4. – URL: <https://esj.today/PDF/21FAVN424.pdf>
- Дятлов, С. А. Отраслевая конвергенция в цифровой экономике / С. А. Дятлов, О. С. Лобанов // *Инновации*. – 2020. – № 2 (256). – С. 75–82. – DOI: [10.26310/2071-3010.2020.256.2.010](https://doi.org/10.26310/2071-3010.2020.256.2.010)
- Каронский, Е. В. Институциональные ограничения импортозамещения в фармацевтической отрасли России / Е. В. Каронский, А. А. Амирханов // *Финансовые рынки и банки*. – 2023. – № 8. – С. 65–71.
- Клунко, Н. С. Основные тренды цифровой трансформации фармацевтической отрасли / Н. С. Клунко, Н. В. Сироткина // *Организатор производства*. – 2021. – № 2. – С. 89–97.
- Коваленко, А. В. Актуальные вопросы финансирования сетевых R&D разработок в фармацевтической отрасли России / А. В. Коваленко, Т. К. Екшикеев // *Здоровье и образование в XXI веке*. – 2020. – № 6. – С. 111–114.
- Костин, К. Б. Современная конъюнктура и позиции России на мировом биотехнологическом рынке / К. Б. Костин, А. Р. Фридман // *Вопросы инновационной экономики*. – 2025. – Т. 15, № 1. – DOI: [10.18334/vines.15.1.122561](https://doi.org/10.18334/vines.15.1.122561)
- Кузьмина, Л. А. Новая индустриализация и промышленная политика в России и реализация Индустрии 4.0 / Л. А. Кузьмина // *Глобус: экономика и юриспруденция*. – 2021. – № 1 (41). – С. 39–43.
- Магомаева, Л. Р. Развитие экономики России в парадигме формирования цифровых экосистем / Л. Р. Магомаева, С. С. Галазова // *Journal of Economic Regulation*. – 2023. – Т. 14, № 4. – С. 57–70. – DOI: [10.17835/2078-5429.2023.14.4.057-070](https://doi.org/10.17835/2078-5429.2023.14.4.057-070)
- Минаков, В. Ф. Эффект цифровой конвергенции в экономике / В. Ф. Минаков, А. В. Шуваев, О. С. Лобанов // *Известия СПбГЭУ*. – 2018. – № 2 (110). – С. 12–18.
- Нехватка кадров в фармацевтической отрасли: общемировые тренды и российская специфика. – URL: <https://gxpnews.net/2023/06/nehvatka-kadrov-v-farmaceutvicheskoy-otrasli-obshhemirovye-trendy-i-rossijskaya-speczifika/>
- Распоряжение Правительства РФ от 07.06.2023 г. № 1495-р «О Стратегии развития фармацевтической промышленности РФ на период до 2030 г.». – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/406959554/>
- Степченкова, О. С. Антихрупкость или устойчивость: перспективы для экономической безопасности России / О. С. Степченкова // *Вестник факультета управления СПбГЭУ*. – 2023. – № 16. – С. 99–106.

- Субботина, Т. Н. Российская фармацевтическая промышленность в условиях санкционного влияния / Т. Н. Субботина, Р. В. Кмита // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2024. – № 1–4 (88). – С. 156–159.
- Указ Президента РФ от 13.05.2017 № 208 «О Стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года». – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71572608/>
- Adner, R. Ecosystem as Structure: An Actionable Construct for Strategy / R. Adner // *Journal of Management*. – 2017. – Vol. 43, No. 1. – P. 39–58. – DOI: 10.1177/0149206316678451
- Chesbrough, H. Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology / H. Chesbrough. – Brighton : Harvard Business School Press, 2003. – 272 p.
- China’s Overlapping Tech-Industrial Ecosystems. – URL: <https://www.high-capacity.com/p/chinas-overlapping-tech-industrial>
- Moore, J. F. Predators and Prey: A New Ecology of Competition / J. F. Moore // *Harvard Business Review*. – 1993. – Vol. 71, No. 3. – P. 75–86.
- Perez, C. Technological Revolutions and Financial Capital: The Dynamics of Bubbles and Golden Ages / C. Perez. – Cheltenham : Edward Elgar Publishing, 2002.
- Schwab, K. The Fourth Industrial Revolution / K. Schwab // *World Economic Forum*. – 2016. – URL: <https://www.weforum.org/pages/the-fourth-industrial-revolution-by-klaus-schwab/>
- Essence, Trends and Strategic Opportunities for Russia]. *Ekonomika promyshlennosti* [Industrial Economics], 2024⁶, vol. 17, no. 4, pp. 353-377. DOI: 10.17073/2072-1633-2024-4-1369
- Balkovaya A.S. Mekhanizmy finansirovaniya farmacevticheskikh innovacij v Rossijskoj Federacii: problemy i perspektivy [Mechanisms of Financing Pharmaceutical Innovations in the Russian Federation: Problems and Prospects]. *Ekonomika i biznes: teoriya i praktika* [Economics and Business: Theory and Practice], 2021, no. 5-1, pp. 41-45.
- Glazyev S.Yu., Kosakyan D.L. Sostoyanie i perspektivy formirovaniya 6-go tekhnologicheskogo uklada v rossijskoj ehkonomie [The State and Prospects of the Formation of the 6th Technological Order in the Russian Economy]. *Ekonomika nauki* [Economics of Science], 2024, no. 10 (2), pp. 11-29. URL: <https://doi.org/10.22394/2410-132X-2024-10-2-11-29>
- Golovko S.M. Osobennosti cifrovizacii biznes-processov farmacevticheskogo biznesa v usloviyah turbulentnosti i ocenka ih ehffektivnosti s uchytom cifrovizacii [Features of Digitalization of Business Processes of Pharmaceutical Business in Turbulent Conditions and Assessment of Their Efficiency Taking into Account Digitalization]. *Vestnik evrazijskoj nauki* [The Eurasian Scientific Journal], 2024, vol. 16, no. s4. URL: <https://esj.today/PDF/21FAVN424.pdf>
- Dyatlov S.A., Lobanov O.S. Otraselevaya konvergenciya v cifrovoj ehkonomie [Industry Convergence in the Digital Economy]. *Innovacii* [Innovation], 2020, no. 2 (256), pp. 75-82. DOI: 10.26310/2071-3010.2020.256.2.010
- Karonskij E.V., Amirkhanov A.A. Institucionalnye ogranicheniya importozameshcheniya v farmacevticheskoy otrasli Rossii [Institutional Restrictions on Import Substitution in the Russian Pharmaceutical Industry]. *Finansovye rynki i banki* [Financial Markets and Banks], 2023, no. 8, pp. 65-71.
- Klunko N.S., Sirotkina N.V. Osnovnye trendy cifrovoj transformacii farmacevticheskoy otrasli [The Main Trends of the Pharmaceutical Industry’s Digital Transformation]. *Organizator proizvodstva* [Production Organizer], 2021, no. 2, pp. 89-97.
- Kovalenko A.V., Ekshikeev T.K. Aktualnye voprosy finansirovaniya setevyh R&D razrabotok v farmacevticheskoy otrasli Rossii [Current Issues of Financing Network R&D Developments in the Russian Pharmaceutical Industry]. *Zdorovye i obrazovanie v XXI veke* [Health and Education in the 21st Century], 2020, no. 6, pp. 111-114.
- Kostin K.B., Fridman A.R. Sovremennaya konyunktura i pozicii Rossii na mirovom biotekhnologicheskom rynke [Current Situation and Russia’s Position in

REFERENCES

- Babkin A.V., Shkarupeta E.V., Tashenova L.V. Metodika ocenki konvergentnosti cifrovoj industrializacii i industrialnoj cifrovizacii v usloviyah Industrii 4.0 i 5.0 [Methodology for Assessing the Convergence of Digital Industrialization and Industrial Digitalization in the Context of Industry 4.0 and 5.0]. *p-Economy*, 2023, no. 16 (5), pp. 91-108. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16507>
- Babkin A.V., Lejhfehj Ch., Khajci D. Vliyanie cifrovoj ehkonomiki na razvitie vysokotekhnologichnoj promyshlennosti Kitaya v usloviyah Industrii 5.0 [The Impact of the Digital Economy on the Development of China’s High-Tech Industry in the Context of Industry 5.0]. *Estestvenno-gumanitarnye issledovaniya* [Natural Sciences and Humanities Research], 2024a, no. 2 (52), pp. 38-43.
- Babkin A.V., Shkarupeta E.V. Industriya 6.0: sushchnost, tendencii i strategicheskie vozmozhnosti dlya Rossii. [Industry 6.0:

- the Global Biotechnology Market]. *Voprosy innovacionnoj ehkonomiki* [Issues of Innovative Economy], 2025, vol. 15, no. 1. DOI: 10.18334/vinec.15.1.122561
- Kuzmina L.A. Novaya industrializaciya i promyshlennaya politika v Rossii i realizaciya Industrii 4.0 [New Industrialization and Industrial Policy in Russia and the Implementation of Industry 4.0]. *Globus: ehkonomika i yurisprudenciya* [Globus: Economics and Law], 2021, no. 1 (41), pp. 39-43.
- Magomaeva L.R., Galazova S.S. Razvitie ehkonomiki Rossii v paradigme formirovaniya cifrovyyh ehkosistem [The Development of the Russian Economy in the Paradigm of the Formation of Digital Ecosystems]. *Zhurnal ehkonomicheskogo regulirovaniya* [Journal of Economic Regulation], 2023, vol. 14, no. 4, pp. 57-70. DOI: 10.17835/2078-5429.2023.14.4.057-070
- Minakov V.F., Shuvaev A.V., Lobanov O.S. Effekt cifrovoy konvergencii v ekonomike [The Effect of Digital Convergence in the Economy]. *Izvestiya SPbGEU* [Izvestia of St. Petersburg State University of Economics], 2018, no. 2 (110), pp. 12-18.
- Nehvatka kadrov v farmacevticheskoy otrasli: obshchemirovye trendy i rossijskaya specifika* [Shortage of Personnel in the Pharmaceutical Industry: Global Trends and Russian Specifics]. URL: <https://gxpnews.net/2023/06/nehvatka-kadrov-v-farmaceuticheskoy-otrasli-obshhemirovye-trendy-i-rossijskaya-specifika/>
- Rasporyazhenie Pravitelstva RF ot 07.06.2023 № 1495-r «O Strategii razvitiya farmacevticheskoy promyshlennosti RF na period do 2030 g.»* [Decree of the Government of the Russian Federation Dated June 7, 2023 No. 1495-r "On the Strategy for the Development of the Pharmaceutical Industry of the Russian Federation for the Period up to 2030"]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/406959554/>
- Stepchenkova O.S. Antikhrupkost ili ustojchivost: perspektivy dlya ekonomicheskoy bezopasnosti Rossii [Antifragility or Sustainability: Prospects for Russia's Economic Security]. *Vestnik fakulteta upravleniya SPbGEU* [Bulletin of the Faculty of Management of St. Petersburg State University], 2023, no. 16, pp. 99-106.
- Subbotina T.N., Kmita R.V. Rossijskaya farmacevticheskaya promyshlennost v usloviyah sankcionnogo vliyaniya [The Russian Pharmaceutical Industry Under the Influence of Sanctions]. *Mezhdunarodnyj zhurnal gumanitarnyh i estestvennyh nauk* [International Journal of Humanities and Natural Sciences], 2024, no. 1-4 (88), pp. 156-159.
- Ukaz Prezidenta RF ot 13.05.2017 № 208 «O Strategii ekonomicheskoy bezopasnosti Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda»* [Decree of the President of the Russian Federation Dated May 13, 2017 No. 208 "On the Strategy of Economic Security of the Russian Federation for the Period up to 2030"]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71572608/>
- Adner R. Ecosystem as Structure: An Actionable Construct for Strategy. *Journal of Management*, 2017, vol. 43, no. 1, pp. 39-58. DOI: 10.1177/0149206316678451
- Chesbrough H. *Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology*. Brighton, Harvard Business School Press, 2003. 272 p.
- China's Overlapping Tech-Industrial Ecosystems*. URL: <https://www.high-capacity.com/p/chinas-overlapping-tech-industrial>
- Moore J.F. Predators and Prey: A New Ecology of Competition. *Harvard Business Review*, 1993, vol. 71, no. 3, pp. 75-86.
- Perez C. *Technological Revolutions and Financial Capital: The Dynamics of Bubbles and Golden Ages*. Cheltenham, Edward Elgar Publishing, 2002.
- Schwab K. The Fourth Industrial Revolution. *World Economic Forum*, 2016. URL: <https://www.weforum.org/pages/the-fourth-industrial-revolution-by-klaus-schwab/>

Information About the Author

Olga S. Stepchenkova, Candidate of Sciences (Economics), Assistant Lecturer, Department of International Business, Saint Petersburg State University of Economics, Marata St, 27/9, 191002 Saint Petersburg, Russian Federation, ooolit mash@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7043-6614>

Информация об авторе

Ольга Сергеевна Степченкова, кандидат экономических наук, ассистент кафедры международного бизнеса, Санкт-Петербургский государственный экономический университет, ул. Марата, 27/9, 191002 г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, ooolit mash@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7043-6614>