

Научная статья

<https://doi.org/10.24412/2220-2404-2025-9-3>

УДК 33.05



Attribution

cc by

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАУЧНЫХ КОЛЛАБОРАЦИЙ С ПОМОЩЬЮ АНАЛИЗА ДАННЫХ

Веляева К.С.¹, Гаранина Е.М.²

Приволжский государственный университет путей сообщения¹,

Московский технический университет связи и информатики²

Аннотация. Статья посвящена разработке методики прогнозирования эффективности научных коллабораций на основе анализа данных. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения результативности научной деятельности через оптимизацию формирования перспективных исследовательских партнерств. Цель работы — формализация процесса предсказания научных взаимодействий путем моделирования траекторий научных исследований в виде ориентированных ациклических графов. Объектом исследования являются научные объединения: региональные и отраслевые научно-образовательные центры, научные, научно-образовательные и научно-производственные консорциумы, университетские комплексы. Предметом исследования — эффективность научной деятельности. Практическая значимость заключается в повышении эффективности управления научными ресурсами за счет выявления перспективных междисциплинарных связей и поддержки формирующихся научных коллективов. Настоящее исследование является частью комплексного научного исследования, посвященного совершенствованию системы отраслевого транспортного образования, проводимого на базе Приволжского государственного университета путей сообщения.

Ключевые слова: прогнозирование эффективности, анализ данных, научные коллаборации, кластерный анализ, оптимизация ресурсов, сетевой анализ, управление научной деятельностью, анализ публикационной активности, ориентированный ациклический граф.

Финансирование: инициативная работа.

Original article

PREDICTING THE EFFECTIVENESS OF SCIENTIFIC COLLABORATIONS THROUGH DATA ANALYSIS

Karina S. Velyaeva¹, Elizabeth M. Garanina²

Volga State University of Railway Transport¹,

Moscow Technical University of Communications and Informatics²

Abstract. The article is devoted to the development of a methodology for predicting the effectiveness of scientific collaborations based on data analysis. The relevance of the research is determined by the need to increase the effectiveness of scientific activities through optimizing the formation of promising research partnerships. The aim of the work is to formalize the process of predicting scientific interactions by modeling the trajectories of scientific research in the form of oriented acyclic graphs. The object of research is scientific associations: regional and branch scientific and educational centers, scientific, educational and scientific production consortia, university complexes. The subject of the research is the effectiveness of scientific activity. The practical significance lies in improving the efficiency of scientific resource management by identifying promising interdisciplinary links and supporting emerging research teams. The present study is part of a comprehensive scientific study devoted to improving the system of sectoral transport education conducted on the basis of the Volga State University of Railway Communications.

Keywords: efficiency forecasting, data analysis, scientific collaborations, cluster analysis, resource optimization, network analysis, scientific activity management, publication activity analysis, oriented acyclic graph.

Funding: Independent work.

Введение.

Научно-технологическое лидерство признано фундаментом современной экономики: оно стимулирует экономический рост, повышает качество жизни и усиливает глобальную конкурентоспособность страны. Научная и инновационная деятельность по своей природе сопряжена с высокой степенью неопределённости и риска из-за невозможности точно предсказать результаты инноваций их исход часто остается непредсказуемым.

Опыт Приволжского государственного университета путей сообщения показывает, что междисциплинарный подход — проведение исследований на стыке различных научных областей и коллективов — зачастую приводит к наиболее прорывным результатам. Разные точки зрения и методы позволяют более комплексно увидеть проблему и найти нестандартные решения. Яркий пример такого эффекта — цифровые технологии: их внедрение успешно трансформирует самые разные сферы, от медицины и образования до промышленности, транспорта и финансов.

В настоящей работе предлагается метод прогнозирования научных коллабораций, направленный на повышение результативности исследований за счёт предсказания наиболее перспективных научных партнёрств в будущем.

Прогнозирование новых сотрудничеств может быть формализовано как задача предсказания связей в сети научного взаимодействия, что позволяет на основе существующих траекторий сотрудничества идентифицировать наиболее удачные сочетания учёных и областей знания. Установление новых связей между исследователями обогащает научную среду и нередко служит катализатором для появления качественно новых открытий. Следовательно, понимание динамики развития таких научных связей имеет решающее значение для характеристики структуры и эволюции науки.

Цель, задачи, методы исследования и используемая терминология.

Целью исследования является проверка гипотезы об возможности прогнозирования научных коллабораций, учитывающей существующие траектории, предсказывая наиболее удачные сочетания в будущем. Установление новых связей между учёными, особенно на стыке научных областей, позволит обогатить научную среду, способствуя новым открытиям, понимание динамики развития научных связей имеет решающее значение для характеристики структуры и эволюции науки. Для достижения этой цели поставлена и решена задача разработки методики прогнозирования научных коллабораций.

Объектом исследования являются научные объединения: региональные и отраслевые научно-образовательные центры, научные, научно-образовательные и научно-производственные консорциумы, университетские комплексы. Предметом исследования – эффективность научной деятельности.

Настоящее исследование является частью комплексного научного исследования, посвященного совершенствованию системы отраслевого транспортного образования, проводимого на базе Приволжского государственного университета путей сообщения [1 – 4].

Для проведения исследования опишем некоторые понятия:

- «траектория научных исследований» – это путь, который используется для достижения поставленных научных целей и выполнения поставленных задач; под траекторией научных исследований также понимают набор мероприятий и приёмов, на основе которых автор изучает и затем раскрывает тему [5];

- «эффективность научной коллаборации» – комплексная характеристика, отражающая соотношение полученных результатов к затраченным ресурсам; рассчитывается как средневзвешенное значение эффективности научных исследований для научных коллективов или организаций для достижения общих целей [6].

1. Университеты и научные коллаборации в современных условиях.

Технологическая революция и цифровизация требуют от высшей школы тесной интеграции образования, науки и инноваций. Однако многие университеты не готовы к этим вызовам и продолжают работать по старой модели с разрывом между образованием и наукой: вузы зачастую выступают лишь трансляторами знаний, тогда как современная экономика нуждается в генераторах новых технологий. Организационные факторы, например, отсутствие налаженного рынка университетских инноваций, и слабая поддержка доведения разработок до внедрения препятствуют превращению научных результатов в инновации. Учебные программы, оторванные от науки, снижают качество подготовки кадров, что ведёт к неудовлетворённости работодателей и усиливает разрыв между исследованиями и потребностями индустрии. При сохранении традиционной модели университеты рискуют утратить конкурентоспособность, особенно в условиях усиления конкуренции.

Для преодоления этих проблем университеты должны трансформироваться в научно-образовательные центры инновационного развития – интеграторы науки, образования и инноваций [1 – 4]. Такой вуз не просто передает знания, а становится ядром создания и внедрения новых технологий. Именно инновационным университетам принадлежит ведущая роль в объединении образования с наукой: без превращения в центр инноваций вуз утрачивает конкурентоспособность. Интегрируя исследования в учебный процесс и взаимодействуя с индустрией, университет готовит кадры для высокотехнологичной экономики и отвечает на запросы рынка.

Важнейшим условием модернизации университетской науки является стратегическое управление развитием, основанное на долгосрочном планировании приоритетных научно-технологических направлений.

Эффективным инструментом трансформации выступают центры компетенций – специализированные подразделения, объединяющие научных и педагогических специалистов вокруг разработки передовых технологий. Такие центры повышают качество подготовки кадров и ускоряют трансфер исследований в инновации. Кроме того, цифровые платформы, объединяющие университеты, научные коллективы и промышленность, позволяют гибко координировать проекты и ускоряют путь от идеи до внедрения, повышая эффективность коммуникации и коммерциализации знаний.

Трансформация вузов в инновационные центры приносит пользу и регионам, и стране. Интегрируясь в региональную экосистему, университет становится ядром развития территории: вокруг него возникают технологические кластеры, новые предприятия и лаборатории. Это привлекает инвестиции и повышает конкурентоспособность региона. Одновременно обновлённые университеты укрепляют технологическое

лидерство страны, создавая новые технологии и готовя кадры.

Таким образом, модернизация университетской науки – необходимое условие инновационного прогресса и технологического суверенитета страны.

Наука сегодня всё чаще выходит за пределы одного научного коллектива или даже страны. Совместные исследования и публикации становятся новым стандартом практически во всех дисциплинах – от медицины до инженерии. Анализ показывает, что именно международные научные команды создают наиболее результативные проекты и самые цитируемые публикации. В этих условиях изоляция в научной деятельности крайне опасна: некоторые современные задачи невозможно решить усилиями одного или двух учёных – требуются большие межнациональные команды. Отказ от сотрудничества чреват дублированием исследований и потерей актуальности результатов на мировой арене. Статистически наука превратилась в коллективное творчество: среднее число авторов научной статьи возросло с $\sim 2,5$ в 1980 году до $\sim 5,9$ в 2015 году [7], что отражает переход от индивидуальной работы к сетевому взаимодействию исследователей.

Виды научных коллабораций: международные, междисциплинарные и институциональные повышают эффективность исследований за счет объединения компетенций, расширения аудитории и улучшения качества публикаций.

2. Математическое описание траектория научных исследований.

Траектории научных исследований исследователя в период времени $t_1 - t_2$ можно представить в виде дерева – расходящихся ветвей, описывающих научные тематики. В контексте теории графов, такую древовидную структуру можно описать в виде двоичного дерева (бинарного дерева) – ориентированного ациклического графа (направленного ациклического графа, DAG от *англ. directed acyclic graph*), имеющего разные уровни иерархии. Связность означает наличие маршрута между любой парой вершин, ацикличность – отсутствие циклов. Отсюда следует, что число рёбер в дереве на единицу меньше числа вершин, а между любыми парами вершин имеется один и только один путь.

Ключевым элементом математического описания научных исследований является результат научной деятельности, под которым понимается результат

деятельности исследователя, или научного коллектива за ограниченный период времени $t_1 - t_2$, который может быть измерен с помощью различных показателей, которые могут быть количественными и качественными. В рамках исследования, результат научной деятельности принимается равным производной функции от совокупности приращения количественных и качественных показателей:

- совокупность приращения количественных и качественных показателей научной деятельности $-\frac{dV}{dt}$, или $V(t)$, или $V = f(t)$;

- результат научной деятельности представляет собой капитализацию приращения количественных и качественных показателей научной деятельности $-\frac{dW}{dt}$, или $W'(t) = V(t)$, или $W = f(t)$.

Процесс капитализации включает:

- сбор данных о затратах, включая фонд оплаты труда, затраченное время, материалы и оборудование;

- определение срока полезного использования полученных результатов;

- амортизацию;

- отражение в балансе в качестве нематериального актива.

Функция $W(v_i \rightarrow v_j)$ между двумя вершинами 1 и 2 определяется

$$W(v_1 \rightarrow v_2) = \sum w(v_i), \text{ где } v_i \in v^{1 \rightarrow 2}. \quad (1)$$

Эффективность научной деятельности будет оцениваться соотношением совокупных результатов научной деятельности $w(v_i)$ к затраченным ресурсам r_i , определенных за i отрезок времени по j ветвям:

$$\sum_j \sum_i \frac{w(v_{ij})}{(t_1 - t_2)r_{ij}} \rightarrow \max. \quad (2)$$

Проведенное сопоставление приращение количественных и качественных показателей научной деятельности и научных публикаций показывает наличие достаточной связи между ними (коэффициент корреляции составляет в среднем от 0,6 до 0,85. В качестве примера на рис. 1 показаны траектории научных исследований научного коллектива.

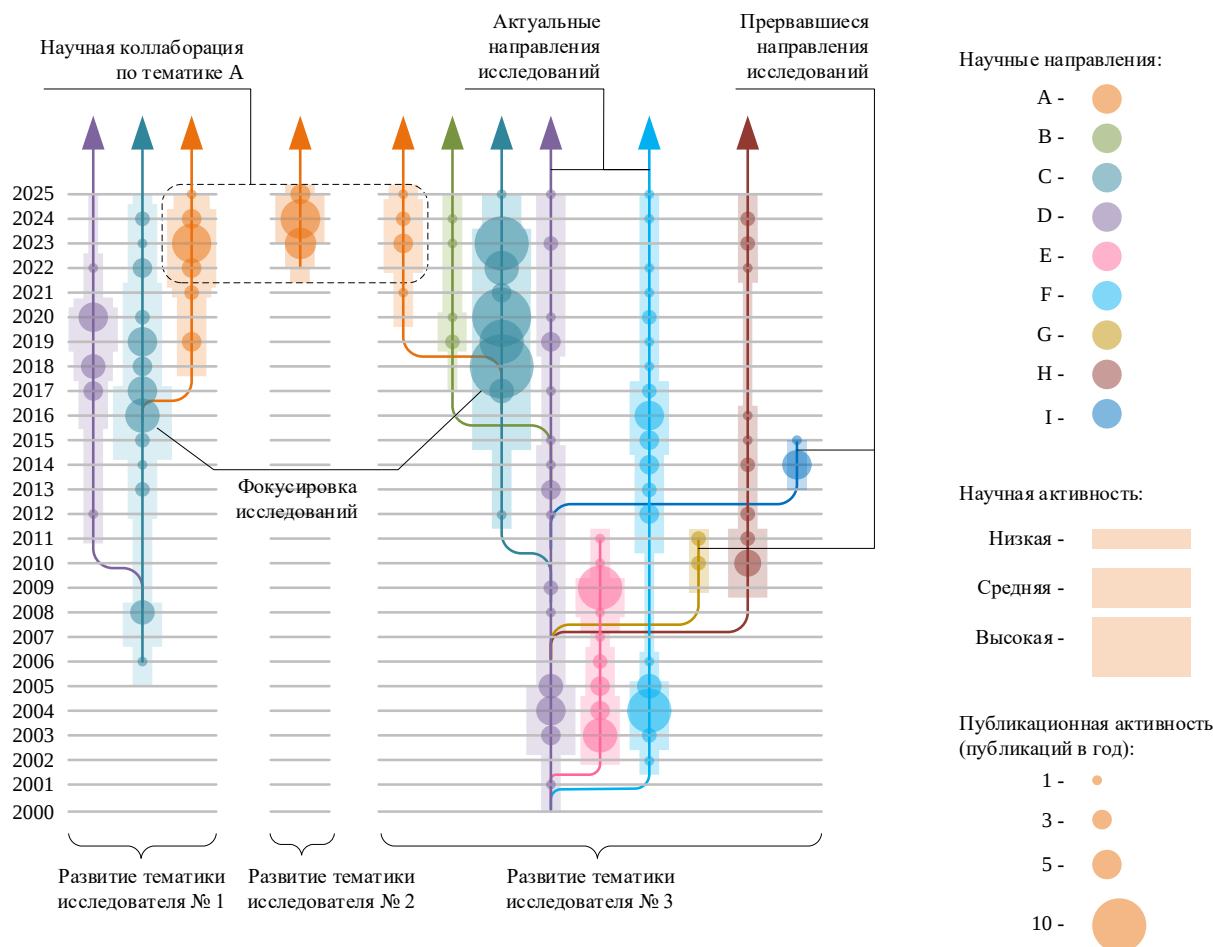


Рис. 1 – Траектории научных исследований

На рис. 1 зафиксированы траектории научных исследований в виде научной и публикационной активности за период с 2001 по 2025 год для научного коллектива (научной коллаборации), сформировавшегося в 2022 году по тематике «Цифровые образовательные платформы» (или тематика «А») и действующего до настоящего времени. Ветви деревьев траекторий научных исследований – это самостоятельные тематики научных исследований.

Для достижения цели исследования возникает закономерный вопрос о характере научных траекторий на рис. 1: являются ли они уникальными, или типовыми? Для этого был проведен анализ типовых траекторий исследователей, посвятивших свою работу цифровым образовательным платформам (рис. 2). Анализ проводился на основе научных публикаций за последние 5 лет. Исследования были разбиты на две группы по характеру: теоретические и практические исследования.



Рис. 2 – Области исследований для тематики «А», формирующие типовые траектории

Рисунок 2 демонстрирует типовые исследовательские области, ведущие к целевой тематике.

3. Методика прогнозирования эффективности научных коллабораций.

Методика прогнозирования эффективности научных коллабораций с помощью анализа данных включает следующие шаги:

1 шаг – установление приоритетных исследований;

2 шаг – прогнозирование траекторий научных исследований работников на основании типовых траекторий.;

3 шаг – кластерный анализ результатов прогноза в евклидовом пространстве;

4 шаг – выбор наиболее лучших ветвей деревьев траекторий научных исследований;

Реализация этапа 2 – это задача прогнозирования временного ряда, предсказания будущих значений на основе прошлых и текущих данных. Временной ряд — это последовательность значений, измеренных через равные промежутки времени. На рис. 3 показан сопоставление процесса прогнозирования траекторий научных исследований (этап 2) с кластерным анализом результатов прогноза в евклидовой плоскости (этап 3).

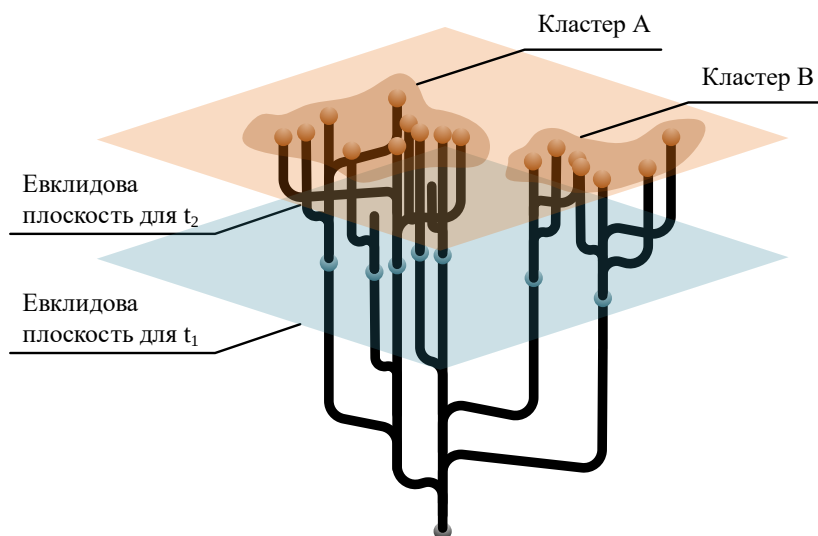


Рис. 3 – Схема прогнозирования траекторий и кластерного анализа

Реализация шага 4 включает оценку минимального необходимого числа ветвей, поскольку на создание каждой ветви нужно тратить ресурсы. Для этого используется такая обобщенная характеристика, как индекс избыточности графа по связям. Индекс избыточности – это относительная разность числа связей Q , имеющихся в данной структуре, и числа связей Q_{min} , необходимого для того, чтобы граф был связанным. Индекс избыточности используется для оценки связанности графов и интерпретируется как мера избыточности структуры системы по связям. Если граф содержит N вершин, то чтобы граф был связанным, необходимо $Q_{min} = N - 1$ рёбер. Следовательно, для индекса избыточности α имеем формулу:

$$\alpha = \frac{(Q - Q_{min})}{Q_{min}} = \frac{(Q - (N - 1))}{N - 1} = \left(\frac{Q}{N - 1} \right) - 1. \quad (3)$$

Если граф дополнить любым числом изолированных вершин, то значение α останется прежним. Значение Q вычисляется по формуле:

$$Q = \sum_i r_{i(1-2)}. \quad (4)$$

Тогда задача прогнозирования эффективности научных коллабораций будет иметь вид оптимизации:

$$\begin{cases} \sum_j \sum_i \frac{w(v_{ij})}{(t_1 - t_2) r_{ij}} \rightarrow \max \\ Q = \sum_i r_{i(1-2)} \rightarrow \min \\ t_2 - t_1 \rightarrow \min \end{cases} \quad (5)$$

В настоящее время применение инструмента вычисления древовидной ширины графа и построения дерева декомпозиции широко используется в различных задачах, в том числе задачах дискретной оптимизации.

Результаты.

Анализ результатов.

Прогнозирование научных коллабораций опирается на выявление факторов, формирующих будущие взаимодействия учёных и траектории научных школ. К ключевым детерминантам относятся:

- тематическая близость и комплементарность компетенций;
- накопленная ко публикационная история и совместные цитирования;

- институциональная сопряжённость (университеты, лаборатории, инфраструктура);
- географическая и цифровая близость; общие гранты и приоритеты.

На уровне сети действуют механизмы триадного замыкания, предпочтительного присоединения и ассортативности сообществ.

Синтез результатов.

Инструмент прогнозирования научных коллабораций представляет собой метод прогнозирования будущих взаимодействий между учёными, работающими в одной области исследований. Он опирается на библиометрические данные (например, базы научных публикаций) и сетевой анализ для выявления потенциальных новых связей. В контексте сетевой науки эта задача известна как предсказание связей (*link prediction*)

Практическая значимость — более эффективное управление научной деятельностью. Прогнозы позволяют выявлять перспективные междисциплинарные связи и оптимально направлять ресурсы на поддержку новых научных коллективов. Прогнозирование соавторства помогает планировать ресурсы для роста научных публикаций, а анализ структуры сотрудничества позволяет согласовать приоритеты исследований со стратегией развития.

Заключение

В условиях конкуренции и сокращения жизненного цикла наукоёмкой продукции важно совершенствовать управление научными исследованиями. Традиционно научное прогнозирование опирается на экспертные оценки и аналитические методы. Однако эффективность таких прогнозов на практике низка. В итоге, прорывные открытия часто происходят неожиданно, а ресурсы нередко расходуются на менее перспективные проекты.

Новые подходы к прогнозированию опираются на анализ больших данных об эволюции науки и применение искусственного интеллекта.

Применение такой методики прогнозирования научных связей повышает результативность научной деятельности. Объективные прогнозы позволяют заранее определить «точки роста» и сосредоточить ресурсы на перспективных направлениях. Это повышает отдачу от инвестиций в исследования и ускоряет появление инноваций.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование в формате double-blind peer review (рецензенту неизвестны имя и должность автора, автору неизвестны имя и должность рецензента). Рецензия может быть предоставлена заинтересованным лицам по запросу.

Список источников:

1. Гаранин, М. А. Транспортное образование в мире / М. А. Гаранин // *Профессиональное образование и рынок труда*. - 2020. - № 3. - С. 61-71. DOI: 10.24411/2307-4264-2020-10309 EDN: AAFLOA
2. Гаранин, М. А. Трансформация высшей школы / М. А. Гаранин, В. Т. Волов // *Вестник СамГУПС*. - 2022. - № 2(56). - С. 9-13. EDN: ULHFCR
3. Гаранин, М. А. Модель управления университетом как центром развития компетенций / М. А. Гаранин // *Креативная экономика*. - 2019. - Т. 13, № 1. - С. 183-194. DOI: 10.18334/ce.13.1.39667 EDN: YYFYDZ

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are reviewed in the double-blind peer review format (the reviewer does not know the name and position of the author, the author does not know the name and position of the reviewer). The review can be provided to interested persons upon request.

4. Гаранин, М. А. Тренды в развитии транспортного образования / М. А. Гаранин // *Техник транспорта: образование и практика*. - 2020. - Т. 1, № 3. - С. 157-164. DOI: 10.46684/2687-1033.2020.3.157-164 EDN: LVOODL
5. Наукометрия: Состояние и перспективы / С. Д. Хайтун. - Москва: Наука, 1983. - 344 с. EDN: ROJISX
6. Альтбах, Ф. Глобальные перспективы высшего образования / Ф. Альтбах; пер. с англ. Ю. Каптуревского; под науч. ред. А. Рябова; предисл. М. Юдкевич; Нац. исслед. ун-т "Высшая школа экономики". - Москва: Изд. дом Высшей школы экономики, 2018. - 548, [4] с. - (Библиотека журнала "Вопросы образования"). ISBN: 978-5-7598-1712-3
7. Москалева О. В. Научные публикации как средство коммуникации, анализа и оценки научной деятельности / О. В. Москалева // *Руководство по наукометрии: индикаторы развития науки и технологии*. - Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2014. - С. 110-163. DOI: 10.15826/B978-5-7996-1352-5.0006 EDN: TKCNMD

References:

1. Garanin, M. A. Transport education in the world / M. A. Garanin // *Vocational education and labor market*. - 2020. - No. 3. - pp. 61-71. DOI: 10.24411/2307-4264-2020-10309 EDN: AAFLOA
2. Garanin, M. A. Transformation of higher education / M. A. Garanin, V. T. Volov // *Bulletin of SamGUPS*. - 2022. - № 2(56). - Pp. 9-13. EDN: ULHFCR
3. Garanin, M. A. The university management model as a competence development center / M. A. Garanin // *Creative economics*. - 2019. - Vol. 13, No. 1. - pp. 183-194. DOI: 10.18334/ce.13.1.39667 EDN: YYFYDZ
4. Garanin, M. A. Trends in the development of transport education / M. A. Garanin // *Transport technician: education and practice*. - 2020. - Vol. 1, No. 3. - pp. 157-164. DOI: 10.46684/2687-1033.2020.3.157-164 EDN: LVOODL
5. Scientometry: State and prospects / S. D. Khaitun. Moscow: Nauka Publ., 1983. 344 p. EDN: ROJISX
6. Altbach, F. Global perspectives of higher education / F. Altbach; translated from English by Yu. Kapturevsky; edited by A. Ryabov; preface by M. Yudkevich; National research. University of Higher School of Economics. Moscow: Publishing House of the Higher School of Economics, 2018. 548, [4] p. (Library of the journal "Voprosy Obrazovaniya"). ISBN: 978-5-7598-1712-3
7. Moskaeva O. V. Scientific publications as a means of communication, analysis and evaluation of scientific activity / O. V. Moskaeva // *Guide to scientometry: indicators of science and technology development*. Yekaterinburg: Ural University Publishing House, 2014. pp. 110-163. DOI: 10.15826/B978-5-7996-1352-5.0006 EDN: TKCNMD

Информация об авторах:

Веляева Карина Сергеевна, аспирантка по специальности «Региональная и отраслевая экономика», ФГБОУ ВО «Приволжский государственный университет путей сообщения», velyaeva.k@mail.ru.

Гаранина Елизавета Максимовна, магистрант 1 курса направления 38.04.05 «Бизнес-информатика» по программе «Цифровая архитектура бизнеса в экономике данных», liza_garanina@mail.ru

Karina S. Velyaeva, postgraduate student of specialty 5.2.3. Regional and Sectoral Economics, Volga State Transport University, Samara.

Elizabeth M. Garanina, 1st year Master's student in the field of Business Informatics on 38.04.05 in the program "Digital Business Architecture in the Data Economy", Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow.

Вклад авторов:

все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors:

All authors contributed equally to this article.

Статья поступила в редакцию / The article was submitted 25.08.2025;

Одобрена после рецензирования / Approved after reviewing 11.09.2025;

Принята к публикации / Accepted for publication 20.09.2025.

Авторами окончательный вариант рукописи одобрен.