

УДК 658.5

АНАЛИЗ ТРЕНДОВ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

© 2022 А.И. Шинкевич, А.А. Лубнина, В.В. Бронская

Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Россия

Статья поступила в редакцию 30.05.2022

Аннотация. Современные глобальные тренды обуславливают революционный переход развития промышленности на новые высокотехнологичные производства с инновационной инфраструктурой, управление которыми осуществляется искусственным интеллектом в рамках создания киберфизических систем. Все эти сложные преобразования невозможны без мощной научно-исследовательской составляющей, которая является фундаментом для осуществления быстрого и качественного перехода на инновационный путь развития, способной обеспечить конкурентоспособность отечественной промышленности на мировом уровне. Важнейшими компонентами научно-исследовательского развития являются – разработка, внедрение и использование новейших производственных разработок, численность персонала, занятого научными исследованиями опытно-конструкторскими разработками, а также государственная поддержка в виде финансирования и реализации различных стимулирующих грантовых программ. Целью статьи является прогнозирование трендов научно-исследовательского развития промышленности. Для решения поставленной цели в работе решены следующие задачи: приведен обзор российской и иностранной литературы в области применения методов математического моделирования для выявления трендов развития промышленности; определение линии трендов для прогнозирования показателей научно-исследовательского развития; построены линии трендов для прогнозирования показателей на будущий период; рассмотрены возможности применения методов нейросетевого моделирования с использованием современных информационных ресурсов. Для решения поставленных задач в статье использованы следующие методы: методы описательной статистики, корреляционно-регрессионный анализ, полиномиальная линия тренда, обучение нейросетей на базе программного пакета Wolfram Mathematica. Обоснование возможностей применения современных методов математического моделирования для оценки тенденций научно-исследовательского развития может стать перспективным инструментом для совершенствования государственного регулирования промышленности страны.

Ключевые слова: научно-исследовательское развитие, промышленность, корреляционно-регрессионный анализ, прогнозирование, нейросетевое моделирование, Wolfram Mathematica.

DOI: 10.37313/1990-5378-2022-24-4-68-74

Исследование выполнено в рамках гранта Президента РФ по государственной поддержке ведущих научных школ РФ № НШ-1886.2022.2

ВВЕДЕНИЕ

Научно-исследовательские изыскания в области развития промышленности с современной литературе направлены на решение проблем перехода на пятый и шестой технологический уклад, который подразумевает масштабирование возможностей реализации следующих направлений: создание дорожной карты Интернета вещей (Georgakopoulos D. и др. [5]), развитие цифровой экосистемы на основе

модели открытых инноваций (Shkarupeta и др. [6]), создание управляемой событиями архитектуры информационной системы (Theorin и др. [7]). Значительное число научных исследований, в области развития методологии повышения эффективности промышленности, направлено на кластерное объединение предприятий (Дырдонова [4]). Инновационное развитие предприятий промышленного комплекса входят в область научных интересов Шинкевич М.В. [12] и Мисбаховой Ч.А. [10]. Для оценки эффективности технологического развития промышленности в рамках глобальных трендов и создания прогнозов считаем эффективным применение инструментов нейросетевого моделирования. Общий обзор нейронных сетей и их классификация представлены в работах Cheng B. и др. [3], Zhang G.P. [9]. Akhmetova I.G. и др. [1,2] в своих исследованиях применили методы нейросетевого моделирования в целях активизации ин-

Шинкевич Алексей Иванович, доктор технических наук, доктор экономических наук, профессор кафедры логистики и управления. E-mail: ashinkevich@mail.ru

Лубнина Алсу Амировна, кандидат экономических наук, доцент кафедры логистики и управления.

E-mail: alsu1982@uandex.ru

Бронская Вероника Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры процессов и аппаратов химической технологии. E-mail: dweronika@mail.ru

новационной деятельности в обрабатывающей промышленности. Voronina V.V. и др. [8] посвятили свои научные разработки изучению потенциала развития искусственных нейронных сетей. Целью статьи является прогнозирование трендов научно-исследовательского развития промышленности при помощи математических моделей. Анализ трендов научно-исследовательского развития промышленности на основе методов математического моделирования посвящено значительное число отечественных и зарубежных работ, что обуславливает актуальность выбранной цели статьи и перспективность дальнейших исследований в этой области.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Информационной базой исследования являются показатели научно-исследовательского развития промышленности России в динамике за 2000-2020 гг. [11]. Отбор показателей для исследования осуществлен с применением корреляционно-регрессионного анализа. Методы описательной статистики использованы для оценки следующих ключевых показателей исследования – разработка, внедрение и использование новейших производственных разработок; численность персонала, занятого научными исследованиями и разработками; финансирование научно-исследовательских работ из бюджета РФ. Прогнозирование научно-исследовательского развития промышленности основано на построении полиномиальной линии тренда и обучении нейросетей на базе программного пакета Wolfram Mathematica.

ВЫВОД ИТОГОВ

| Регрессионная статистика | | | | | | | |
|--------------------------|----------|---------------|--------------|------------|--------------|--------------|---------------|
| Множественный R | 0,9756 | | | | | | |
| R-квадрат | 0,9518 | | | | | | |
| Нормированный R-квадрат | 0,9433 | | | | | | |
| Стандартная ошибка | 14,6491 | | | | | | |
| Дисперсионный анализ | | | | | | | |
| | df | SS | MS | F | Значимость F | | |
| Регрессия | 3 | 72010,739 | 24003,580 | 111,854 | 0,000 | | |
| Остаток | 17 | 3648,141 | 214,597 | | | | |
| Итого | 20 | 75658,880 | | | | | |
| | Коэф. | Станд. ошибка | t-статистика | P-Значение | Верхние 95% | Нижние 95,0% | Верхние 95,0% |
| Y-пересечение | 761,8084 | 120,5567 | 6,3191 | 0,00001 | 507,4561 | 1016,1607 | 507,4561 |
| Перемен. X 5 | -0,7799 | 0,1393 | -5,5970 | 0,00003 | -1,0738 | -0,4859 | -1,0738 |
| Перемен. X 10 | 0,1218 | 0,0432 | 2,8205 | 0,01179 | 0,0307 | 0,2128 | 0,0307 |

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Поскольку результатом научно-исследовательской деятельности является разработка и применение новых производственных технологий, то определим этот показатель как зависимую переменную (Y). Независимыми переменными будут выступать 20 показателей, характеризующих уровень научно-исследовательского развития промышленности России в 2000-2020 гг. С целью определения круга показателей, оказывающих наибольшее влияние на зависимую переменную, используем корреляционно-регрессионный анализ.

Корреляционный анализ позволяет выявить связь между двумя или более случайными величинами. Таким образом, выявлена тесная прямая взаимосвязь между использованием новых производственных технологий, тыс. единиц (Y) и показателями: численностью персонала, занятого выполнением научно-исследовательских работ, тыс. человек ($X_5, r_{x_5y} = -0,92$) и финансированием научно-исследовательских работ из бюджета РФ, млрд. руб. ($X_{10}, r_{x_{10}y} = 0,95$).

Регрессионный анализ – метод моделирования измеряемых данных и исследования их свойств. Регрессионная модель представляет собой функцию независимой переменной (переменной отклика) и параметров с добавленной случайно переменной (объясняющей переменной). Уравнение регрессии построено в программе «Excel» с помощью модуля регрессии пакета анализа данных, протокол результатов регрессионной модели представлен на рисунке 1.

Рис. 1. Протокол результатов регрессионной модели

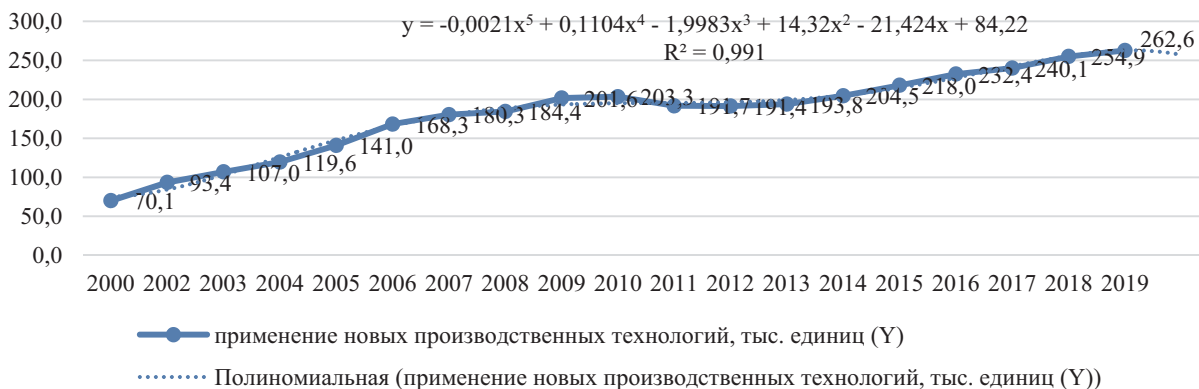


Рис. 2. Полиномиальная линия тренда для прогноза показателя «применение новых производственных технологий, тыс. единиц (Y)» на 2020 г.

Корреляционно-регрессионный анализ позволил определить тесноту связи между зависимой переменной «использованием новых производственных технологий, тыс. единиц (Y) и показателями: численностью персонала, занятого выполнением научно-исследовательских работ, тыс. человек (X5), финансированием научно-исследовательских работ из бюджета РФ, млрд. руб. (X10). Рассмотрим динамику выбранных показателей за 2000-2019 гг. и построим прогноз научно-исследовательского развития промышленности на 2020 г.

В 2000-2019 гг. наблюдается позитивная тенденция роста применения новых производственных технологий (рисунок 2). Так, в 2019 г. количество используемых передовых производственных технологий составило 262,6 тыс. единиц, что в 4 раза больше числа 1999 г. (70,1 тыс. единиц). Для прогноза показателя на 2020 г. выбрана полиномиальная линия тренда пятой степени, величина достоверности аппроксимации, которой составила $R^2=0,991$. Таким образом, согласно полученному прогнозу, количество используемых передовых производственных технологий

в 2020 г. составила 250,7 тыс. единиц, однако фактическое значение этого показателя по данным Росстата составила 242,9 тыс. единиц (расхождение на 3,2%).

Вместе с тем, в рассматриваемый период на 20% сократилось число сотрудников, занятых научными исследованиями и разработками и к 2019 г. составило 682,5 тыс. человек (887,3 тыс. человек в 2000 г.). Данное снижение связано с возрастающими требованиями к квалификации, кардинального изменения научной инфраструктуры и специфики научного труда. Прогноз показателя на 2020 г. также осуществлен при помощи полиномиальной линии тренда пятой степени ($R^2=0,983$). Следовательно, согласно полученному прогнозу, число сотрудников, занятых научными исследованиями и разработками в 2020 г. составило 637,3 тыс. человек (рисунок 3). Однако, фактически этот показатель в 2020 г. достиг исторического минимума – 578 тыс. человек (расхождение на 9%).

Научно-исследовательское развитие промышленности невозможно без значительных инвестиций в эту сферу. Финансирование на-



Рис. 3. Полиномиальная линия тренда для прогноза показателя «численность персонала, занятого выполнением научно-исследовательских работ, тыс. человек (X5)» на 2020 г.



Рис. 4. Полиномиальная линия тренда для прогноза показателя «финансирование научно-исследовательских работ из бюджета РФ, млрд. руб. (X10)» на 2020 г.

учно-исследовательских работ из бюджета РФ в 2000-2019 гг. выросло в 28 раз и в 2019 году составило 489,2 млрд. руб. против 17,1 млрд. руб. в 2000 г. (рисунок 4). Следовательно, в последнее 20-летие ведется серьезная политика государства, направленная на поддержку и развитие научных исследований и разработок. Согласно прогнозу показателя на 2020 г. с использованием полиномиальной линии тренда пятой степени ($R^2=0,992$) объем финансирования НИР составил 592,1 млрд. руб. При этом фактическое значение показателя в 2020 г. составил 549,6 млрд. руб. (расхождение на 7%).

Таким образом, согласно полученным данным, прогнозирование показателей научно-исследовательского развития промышленности на основе построения полиномиальной линии тренда, позволяет правильно определить тренды развития, однако может иметь расхождения от фактических данных до 9%.

Рассмотрим возможности прогнозирования научно-исследовательского развития промышленности на основе методов нейросетевого моделирования. Ускорение научно-технического прогресса характеризуется большими объемами информации, которая является обязательным

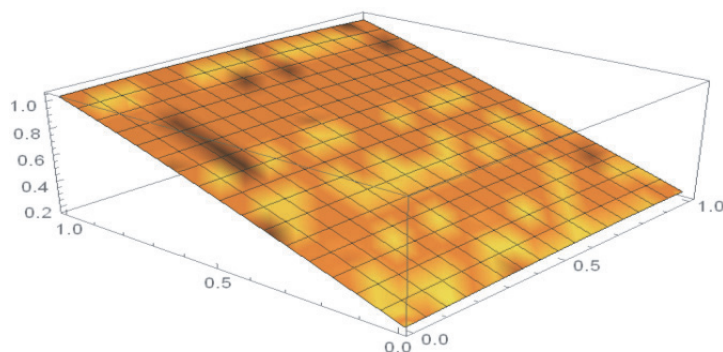
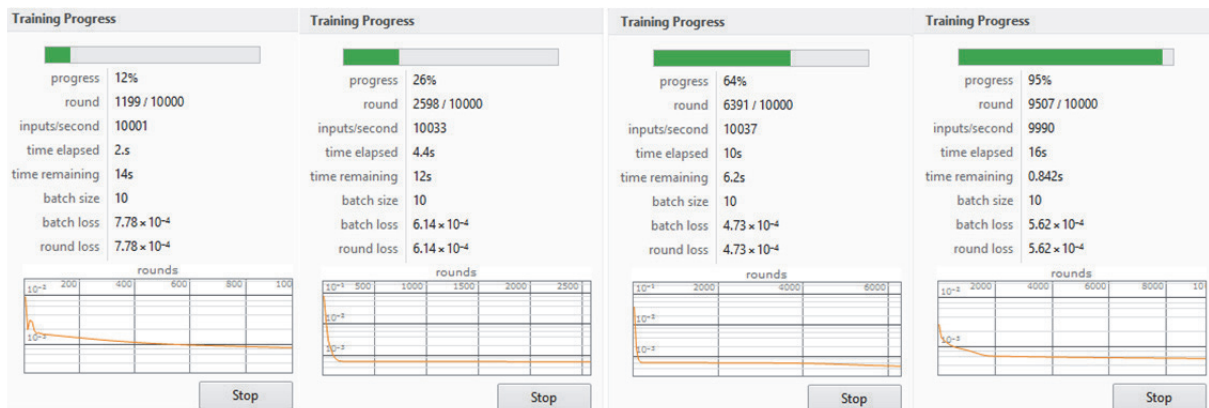


Рис. 5. Результат построения нейронных сетей в Wolfram Mathematica

элементом интеллектуальной деятельности. Большие базы данных позволяют давать более точные прогнозы с использованием современного математического аппарата. Нейронные сети активно используются для решения множества задач. Возможности нелинейного моделирования и сравнительная простота реализации дают нейронным сетям отличное преимущество перед другими методами обработки информации. Для построения нейронных сетей используем программный пакет Wolfram Mathematica.

В рабочей среде Wolfram Mathematica в панели управления выбираем вкладку Graphics, команду Drawing Tools инструмент Get Coordinates. В среде Matlab в панели управления выбираем Brush и определяем координаты (x,y) промежуточных точек. По результатам обучения нейросетей получили следующие прогнозные значения показателей на 2020 г.: применение новых производственных технологий – 253,3 тыс. единиц; численность персонала, занятого выполнением научно-исследовательских работ – 607,2 тыс. человек; финансирование научно-исследовательских работ из бюджета РФ – 575,7 млрд. руб. Сравним результаты, полученные разными методами математического моделирования.

Таким образом, Wolfram Language обладает современными возможностями для создания, обучения и развертывания систем машинного обучения нейронных сетей. Доступны многие стандартные типы слоев, символически собира-

емые в сеть, которую можно обучить и развернуть на доступных графических процессорах. Сравнительные характеристики результатов прогнозирования показателей научно-технического развития позволяют сделать вывод о том, что вычисления в среде Wolfram Mathematica являются более точными по сравнению с прогнозированием на основе построения полиномиальной линии тренда.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрены 20 показателей, характеризующих уровень научно-исследовательского развития промышленности России в 2000-2020 гг. По результатам корреляционно-регрессионного анализа выбраны ключевые показатели научно-исследовательского развития – разработка, внедрение и использование новейших производственных разработок; численность персонала, занятого научными исследованиями и разработками; финансирование научно-исследовательских работ из бюджета РФ. Применение методов описательной статистики позволило определить, что на фоне роста количества использованных новых технологий и увеличения объемов финансирования, наблюдается негативная тенденция снижения числа сотрудников, занятых научными исследованиями и разработкам, что связано с возрастающими требованиями к квалификации, кардинального изменения научной инфраструктуры

Таблица 1. Сравнительные характеристики результатов прогнозирования показателей научно-технического развития

| Наименование показателя | Фактическое значение показателя за 2020 г. по данным Росстата | Прогноз на 2020г. по результатам построения полиномиальной линии тренда | Расхождение с фактическим значением, % | Прогноз на 2020г. по результатам обучения нейронной сети в Wolfram Mathematica | Расхождение с фактическим значением, % |
|---|---|---|--|--|--|
| Применение новых производственных технологий, тыс. единиц (Y) | 242,9 | 250,7 | 3,2 | 253,3 | 4,1 |
| Численность персонала, занятого выполнением научно-исследовательских работ, тыс. человек (X5) | 578,0 | 637,3 | 9,3 | 607,2 | 4,8 |
| Финансирование научно-исследовательских работ из бюджета РФ, млрд. руб. (X10) | 549,6 | 592,1 | 7,1 | 575,7 | 4,5 |

и специфики научного труда. Для определения возможностей прогнозирования показателей использована полиномиальная линия тренда и рассмотрен универсальный математический пакет Wolfram Mathematica, составлены коды программирования с использованием нейронных сетей для обработки базы экспериментальных данных. Сравнительные характеристики результатов прогнозирования показателей научно-технического развития позволяют сделать вывод о том, что вычисления в среде Wolfram Mathematica являются более точными и, следовательно, наиболее перспективными для дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Akhmetova I.G., Balzamova E.Y., Bronskaya V.V., Balzamor D., Kharitonova O.S. Reliability assurance of the thermal energy sources using the neural network modelling. E3S Web of Conferences. 2020. 216. 01036.
2. Akhmetova I.G., Makoveev V., Mazilov E. Activation of innovative activity in the manufacturing industry: Regional aspect. E3S Web of Conferences. 2020. 220. 01038.
3. Chen B., Wan J., Shu L., Li P., Mukherjee M., Yin B. Smart factory of Industry 4.0: key technologies, application case, and challenges. IEEE Access. 2017. 6. 6506–6519.
4. Dyrdonova A.N. Methodological approach to evaluation of clustering potential and efficiency improvement management for development of the regional industry clusters // International Journal of Economics and Financial Issues. 2016. 6(S1). 243–248.
5. Georgakopoulos D., Jayaraman P., Fazio M., Villari M., Ranjan R. Internet of things and edge cloud computing roadmap for manufacturing. IEEE Cloud Comput. 2016. 3(4). 66–73.
6. Shkarupeta E., Savon D., Safronov A., Avlasenko L., Kruzhkova G. Digital Ecosystem Development Based on Open Innovation Model // Russian Conference on Digital Economy and Knowledge Management. 2020. 601–605.
7. Theorin A., Bengtsson K., Provost J., Lieder M., Johnsson C., Lundholm T., Lennartson B. An event-driven manufacturing information system architecture for Industry 4.0 // International Journal of Production Research. 2017. 55(5). 1297–1311.
8. Voronina V.V., Mikheev A.V., Yarushkina N.G., Svyatov K.V. Machine Learning Theory and Practice. Ulyanovsk. UIGTU Publ. 2017. 290.
9. Zhang G.P. Neural networks for classification: A survey // IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Part C Appl. Rev. 2000. 30. 451–462.
10. Мисбахова, Ч.А. Состояние и перспективы развития инновационной деятельности в Республике Татарстан / Ч.А. Мисбахова, А.И. Шинкевич, Ф.Ф. Галимулина // Инновационная деятельность. - 2015. - № 3 (34). - С. 44-51.
11. Росстат [Электронный ресурс] – URL: <http://www.gks.ru> (дата обращения: 19.05.2021).
12. Шинкевич, М.В. Роль предпринимательских инициатив в совершенствовании организации производства предприятий нефтехимического комплекса / М.В. Шинкевич, Н.В. Барсегян // Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права. 2019. №2. С.358-369.

ANALYSIS OF TRENDS IN SCIENTIFIC RESEARCH DEVELOPMENT OF THE INDUSTRY ON THE BASIS OF MATHEMATICAL MODELING METHODS

© 2022 A.I. Shinkevich, A.A. Lubnina, V.V. Bronskaya

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

Modern global trends cause a revolutionary transition in the development of industry to new high-tech industries with innovative infrastructure, which are controlled by artificial intelligence as part of the creation of cyber-physical systems. All these complex transformations are impossible without a powerful research component, which is the foundation for a quick and high-quality transition to an innovative development that can ensure the competitiveness of the domestic industry at the global level. The most important components of research development are the development, implementation and use of the latest production developments, the number of personnel involved in research and development, as well as state support in the form of financing and implementation of various incentive grant programs. The purpose of the article is to predict the trends in the research development of the industry. To achieve this goal, the following tasks were solved in the work: a review of Russian and foreign literature in the field of application of mathematical modeling methods to identify industry development trends is given; determination of the range of indicators characterizing the level of research development; built trend lines to predict indicators for the future period; the possibilities of applying the methods of neural network modeling using modern information resources are considered. To solve the tasks in the article, the following methods were used: methods of descriptive statistics, correlation and regression analysis, polynomial trend line, training of neural networks based on the Wolfram Mathematica software package. Substantiation of the possibilities of using modern methods of mathematical modeling to assess trends in research development can become a promising tool for improving the state regulation of the country's industry.

Keywords: research development, industry, correlation and regression analysis, forecasting, neural network modeling, Wolfram Mathematica.

DOI: 10.37313/1990-5378-2022-24-4-68-74

REFERENCES

1. Akhmetova I.G., Balzamova E.Y., Bronskaya V.V., Balzamon D., Kharitonova O.S. Reliability assurance of the thermal energy sources using the neural network modelling. E3S Web of Conferences. 2020. 216. 01036.
2. Akhmetova I.G., Makoveev V., Mazilov E. Activation of innovative activity in the manufacturing industry: Regional aspect. E3S Web of Conferences. 2020. 220. 01038.
3. Chen B., Wan J., Shu L., Li P., Mukherjee M., Yin B. Smart factory of Industry 4.0: key technologies, application case, and challenges. IEEE Access. 2017. 6. 6506–6519.
4. Dyrdonova A.N. Methodological approach to evaluation of clustering potential and efficiency improvement management for development of the regional industry clusters. International Journal of Economics and Financial Issues. 2016. 6(S1). 243-248.
5. Georgakopoulos D., Jayaraman P., Fazia M., Villari M., Ranjan R. Internet of things and edge cloud computing roadmap for manufacturing. IEEE Cloud Comput. 2016. 3(4). 66–73.
6. Shkarupeta E., Savon D., Safronov A., Avlasenko L., Krzhkova G. Digital Ecosystem Development Based on Open Innovation Model. Russian Conference on Digital Economy and Knowledge Management. 2020. 601-605.
7. Theorin A., Bengtsson K., Provost J., Lieder M., Johnsson C., Lundholm T., Lennartson B. An event-driven manufacturing information system architecture for Industry 4.0. International Journal of Production Research. 2017. 55(5). 1297–1311.
8. Voronina V.V., Mikheev A.V., Yarushkina N.G., Svyatov K.V. Machine Learning Theory and Practice. Ulyanovsk. UIGTU Publ. 2017. 290.
9. Zhang G.P. Neural networks for classification: A survey. IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Part C Appl. Rev. 2000. 30. 451–462.
10. Misbahova, Ch.A. Sostoyanie i perspektivy razvitiya innovacionnoj deyatel'nosti v Respublike Tatarstan / Ch.A. Misbahova, A.I. Shinkevich, F.F. Galimulina // Innovacionnaya deyatel'nost'. - 2015. - № 3 (34). - S. 44-51.
11. Rosstat [Elektronnyj resurs] – URL: <http://www.gks.ru> (data obrashcheniya: 19.05.2021).
12. Shinkevich, M.V. Rol' predprinimatel'skih iniciativ v sovershenstvovanii organizacii proizvodstva predpriyatij neftekhimicheskogo kompleksa / M.V. Shinkevich, N.V. Barsegyan // Vestnik Belgorodskogo universiteta kooperacii, ekonomiki i prava. 2019. № 2. S.358-369.

Aleksey Shinkevich, Doctor of Technical Sciences, Doctor of Economics, Professor of the Department of Logistics and Management. E-mail: ashinkevich@mail.ru

Alsu Lubnina, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Logistics and Management. E-mail: alsu1982@yandex.ru

Veronika Bronskaya, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Processes and Apparatuses of Chemical Technology. E-mail: dveronika@mail.ru