Экономико-математическое моделирование

УДК 005.342

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ИННОВАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

П.Б. БОЛДЫРЕВСКИЙ,
доктор физико-математических наук,
профессор, заведующий кафедрой
математических и естественнонаучных дисциплин
E-mail: bpavel2@rambler.ru

Л.А. КИСТАНОВА,
аспирантка кафедры
математических и естественнонаучных дисциплин
E-mail: lakistanova@mail.ru

И.В. РАХМЕЛЕВИЧ,
кандидат технических наук,
доцент кафедры
математических и естественнонаучных дисциплин
E-mail: igor-kitpd@yandex.ru
Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского –
Национальный исследовательский университет

Одним из важнейших факторов, определяющих повышение конкурентоспособности и успешное функционирование предприятий российской промышленности, является развитие всех сфер инновационной деятельности. Поэтому предприятия должны разрабатывать эффективные методы и придерживаться стратегической концепции инновационного развития. Авторами проведен анализ динамики показателей инновационной активности предприятий обрабатывающих производств. С помощью эконометрических методов построены регрессионные модели, позволяющие определить влияние факторов на динамику инновационной активности машиностроительного комплекса. На основании собранных и обработанных статистических данных, отражающих инновационную деятельность промышленных предприятий Российской Федерации в секторе производства машин и оборудования с 2002 по 2013 г., разработаны динамические модели, позволяющие прогнозировать объем инновационной

продукции промышленных предприятий. Совокупность критериев оценки качества регрессионных уравнений позволяет сделать вывод, что предложенные математико-статистические модели являются адекватными и могут быть использованы предприятиями при разработке стратегической инновационной концепции. На основе предложенных эконометрических уравнений разработаны модели, включающие дифференциальные уравнения, учитывающие непрерывную связь между факторами и откликом системы, а также связь между фактором и динамикой изменения отклика под воздействием этого фактора. Показаны преимущества таких моделей по сравнению с многофакторными регрессионными моделями и перспективность их применения для прогнозирования параметров и анализа устойчивости развития инновационных процессов.

***Ключевые слова**: инновационная деятельность, производство машин и оборудования, модели динамики, дифференциальные уравнения, прогнозирование*

Одним из основных документов системы стратегического планирования экономики Российской Федерации является прогноз долгосрочного социально-экономического развития на период до 2030 года*. Он определяет направления и ожидаемые результаты социально-экономического развития Российской Федерации и субъектов Федерации в долгосрочной перспективе и содержит обоснование внутренних и внешних условий достижения целевых показателей. Основное внимание в данном прогнозе уделено возможности развития инновационных систем в различных секторах экономики.

Машиностроительный комплекс является одним из ключевых секторов экономики, уровень развития которого в значительной степени определяется инновационной активностью промышленных предприятий, что связано с интенсивным внедрением и разработкой качественно новых продуктов и технологий. В целом инновационные процессы в отечественной промышленности являются достаточно сложными и противоречивыми, что требует качественного и количественного анализа ситуаций и прогнозирования.

Рассмотрим модели прогнозирования инновационной активности промышленных предприятий, позволяющие оценить прогнозируемые параметры и ошибки прогноза.

* О прогнозе долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации до 2030 года: письмо Минэкономразвития России от 21.05.2012 № 9833-АК/Д03и.

С использованием ранее полученных результатов регрессионного анализа и инструментария дифференциальных уравнений построим динамическую модель инновационного процесса прогнозирования. Дифференциальные уравнения имеют преимущества перед регрессионными моделями, так как в них исследуются не только зависимости переменных от времени, но и от их взаимосвязи во времени.

В общем виде регрессионная модель взаимосвязи Y (объема отгруженной инновационной продукции производства машин и оборудования) и X (затрат на технологические инновации в производстве машин и оборудования) будет выглядеть следующим образом:

$$Y(x) = b_{0y} + b_{1y}X(t) + b_{2y}X^2(t). \qquad (1)$$

При этом затраты на технологические инновации в динамике имеют заметный рост, и зависимость их от времени может быть представлена в следующем виде:

$$X(t) = b_{0x} + b_{1x}t. \qquad (2)$$

Дифференцируя уравнения (1) и (2), получим следующую систему:

$$\frac{dY}{dx} = b_{1y} + 2b_{2y}X(t);$$

$$\frac{dX}{dt} = b_{1x},$$

из которой можно определить выражение дифференциала dY по времени t:

$$dY = b_{1x}b_{1y}dt + 2b_{0x}b_{1x}b_{2y}dt + 2b_{1x}^2b_{2y}dt.$$

Интегрированный объем инновационной продукции, зависящий от времени, определится следующим выражением:

$$Y(t) = b_{1x}(b_{1y} + 2b_{0x}b_{2y})t + b_{1x}^2b_{2y}t^2 + C.$$

Задав начальную точку отсчета t_0, можно вычислить значение постоянной C при $t = t_0$ и $Y(t) = Y(t_0)$. Откуда C будет равно

$$C = Y(t_0) - b_{1x}(b_{1y} + 2b_{0x}b_{2y})t - b_{1x}^2b_{2y}t^2.$$

В результате формула функционала будет иметь следующий вид:

$$Y(t) = Y(t_0) + b_{1x}(b_{1y} + 2b_{0x}b_{2y})(t - t_0) + \\ + b_{1x}^2b_{2y}(t^2 - t_0^2).$$

Поскольку расчет будет выполнен численным методом (при помощи итераций), то необходимо иметь расчетную или рекуррентную формулу, где каждый член последовательности будет определен на основании предыдущих членов. Шаг последовательности определяется параметром i, который в соответствии со статистическими данными берется в размере одного года. Тогда текущее значение

объема отгруженной инновационной продукции определится следующей формулой:

$$Y_i(t_i) = Y_{i\text{-}1}(t_{i\text{-}1}) + b_{1x}(b_{1y} + 2b_{0x}b_{2y})(t_i - t_{i\text{-}1}) + \\ + b_{1x}^2 b_{2y}(t_i^2 - t_{i-1}^2). \quad (3)$$

На основании предложенного расчета выполним количественный прогноз инновационного развития производства машин и оборудования в РФ. Для прогноза используем временной ряд объема отгруженной инновационной продукции в отрасли с 2002 по 2012 г., а при помощи имеющихся данных 2013 г. определим точность и адекватность прогноза. По данным Федеральной службы государственной статистики построена числовая регрессионная модель взаимосвязи Y (объема отгруженной инновационной продукции, производства машин и оборудования) и X (затрат на технологические инновации в производстве машин и оборудования в РФ)

$$Y(x) = 19\,618 - 3{,}799X(t) + 0{,}0006X^2(t), \quad (4)$$

и тренд зависимости затрат на технологические инновации от времени

$$X(t) = 3\,155 + 927{,}7t. \quad (5)$$

В построенных регрессионных моделях коэффициенты регрессии статистически значимы и уравнение регрессии надежно. Выполненные расчеты с использованием выражений (3)–(5) представлены в таблице.

Значение прогноза, равное 73 121,2 млн руб., незначительно отличается от значения фактического за 2013 г., которое равно 68 797 млн руб. Ошибка в прогнозе составила 6,2%.

Другим подходом к анализу инновационной деятельности промышленных предприятий является использование дифференциальных уравнений, описывающих динамические системы с запаздыванием. Надо заметить, что во всякой экономической деятельности почти всегда присутствует запаздывание. В рассматриваемом случае задержка по времени связана с отставанием внедрения инноваций от вложения средств в них.

Динамическая траектория Y (объема отгруженной инновационной продукции, производства машин и оборудования) с задержкой по времени τ может быть описана следующим уравнением:

$$\frac{dY}{dt} + aY(t) + bY(t-\tau) = C_0 Y^*, \quad (6)$$

где a и b – коэффициенты уравнения;

Y^* – приращение объема инновационной продукции;

C_0 – константа, которая определяется эмпирическими данными за расчетный период.

Решение однородного уравнения, соответствующего уравнению (6), ищем в виде

$$Y(t) = Ce^{\lambda t}.$$

Подставляя это решение в однородное уравнение, получим характеристическое уравнение относительно λ:

$$\lambda + a + be^{-\lambda t} = 0. \quad (7)$$

Будем исходить из того, что система тогда и только тогда является асимптотически устойчивой, если для всех действительных корней уравнения (7) выполняется условие $\lambda < 0$. Вследствие этого границы области устойчивости на плоскости параметров a, b определяются так:

– прямой:

$$a + b = 0, \quad (8)$$

Динамика объемов инновационной продукции в производстве машин и оборудования в РФ

Год	i	$Y_{i-1}(t_{i-1})$	t_i	t_{i-1}	$(t_i - t_{i-1})$	t_i^2	t_{i-1}^2	$(t_i^2 - t_{i-1}^2)$	$b_{1x}(b_{1y}+2b_{0x}b_{2y})(t_i - t_{i-1})$	$b_{1x}^2 b_{2y}(t_i^2 - t_{i-1}^2)$	$Y_i(t_i)$
2002	1	12 604,3	0	–	–	–	–	–	–	–	12 604,3
2003	2	14 099,9	1	0	1	1	0	1	–12,06	516,38	13 108,6
2004	3	18 471,8	2	1	1	4	1	3	–12,06	1 549,13	15 637,0
2005	4	22 578,8	3	2	1	9	4	5	–12,06	2 581,88	21 041,6
2006	5	23 892,3	4	3	1	16	9	7	–12,06	3 614,63	26 181,4
2007	6	37 001,1	5	4	1	25	16	9	–12,06	4 647,39	28 527,6
2008	7	57 278,6	6	5	1	36	25	11	–12,06	5 680,14	42 669,2
2009	8	55 135,8	7	6	1	49	36	13	–12,06	6 712,89	63 979,4
2010	9	47 272,7	8	7	1	64	49	15	–12,06	7 745,65	62 869,4
2011	10	58 384,1	9	8	1	81	64	17	–12,06	8 778,40	56 039,0
2012	11	62 289,4	10	9	1	100	81	19	–12,06	9 811,15	68 183,2
2013	12	68 797,0	11	10	1	121	100	21	–12,06	10 843,90	73 121,2

что соответствует корню $\lambda = 0$;

– чисто мнимым корнем $\lambda = iv$, который можно определить из уравнения:

$$iv + a + b(\cos v\tau - i\sin v\tau) = 0. \quad (9)$$

Уравнение (9) можно эквивалентным образом представить в виде системы:

$$\begin{cases} a + b\ \cos\ v\tau = 0; \\ v - b\ \sin\ v\tau\ = 0. \end{cases} \quad (10)$$

Отсюда из системы (10) имеем

$$b = v/\sin(v\tau), \quad a = -b\cos(v\tau) = -vctg(v\tau). \quad (11)$$

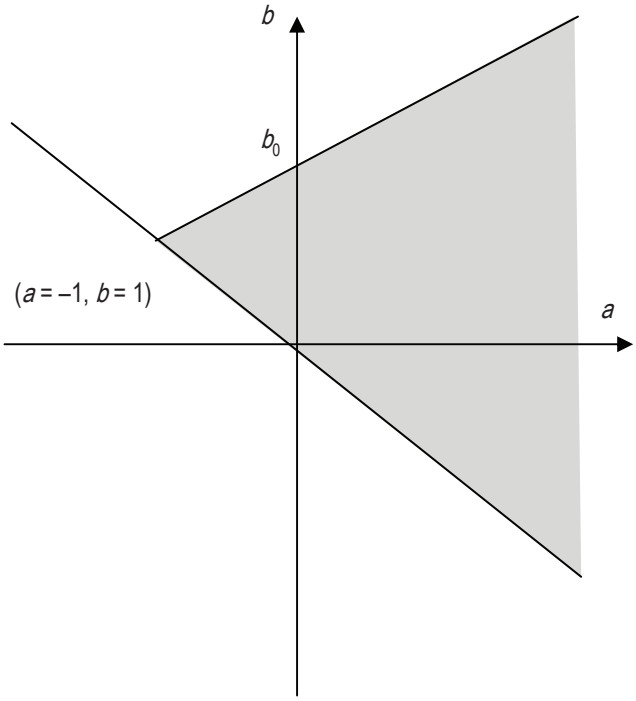
Тогда в плоскости параметров a, b область асимптотической устойчивости имеет вид, изображенный на рисунке. Выход за границы области приводит к потере устойчивости динамической системы. Границы области устойчивости на плоскости (a, b) определяются уравнениями (8) и (11), при этом $b_0 = \pi/2\tau$.

Общее решение системы имеет следующий вид:

$$Y(t) = C_0 Y^* t + \sum_k C_k e^{\lambda_k t},$$

где λ_k – корни уравнения (7).

Ранее по представленным статистическим данным была построена динамическая модель Y (объема отгруженной инновационной продукции, производства машин и оборудования):



Примечание. Серым цветом выделена область асимптотической устойчивости.

Область устойчивости инноваций в плоскости параметров (*a*, *b*)

$$Y(t) = 1\ 633 + 6\ 588t - 86t^2.$$

Откуда дифференциальное уравнение определится следующим выражением:

$$\frac{dY}{dt} = 6\ 588 - 172t. \quad (12)$$

Решением уравнения (12) с учетом запаздывания инноваций в один год ($\tau = 1$) по отношению к затратам на технологические инновации в производстве машин и оборудования будет уравнение $Y(t) = C_0 + Y^* t$, при этом $\lambda = 0$, что соответствует $a + b = 0$. Числовое значение приращения объема инноваций по годам составит $Y^* = 1\ 547$ млн руб., значение константы $C_0 = 452\ 72$ млн руб. Определим прогноз по дифференциальному уравнению при $t = 12$, $Y_{(12)} = 63\ 836$ млн руб., что меньше на 7% по сравнению с фактическим 2013 г., но расхождение незначительное и попадает в доверительный интервал.

Приращение объема инноваций по годам Y^* можно считать управляющим сигналом по отношению к инновациям. Соответствующее уменьшение значения данного управляющего воздействия приведет к выходу системы из области устойчивости и, таким образом, к неэффективности инновационного процесса, что даст не рост, а снижение объемов отгруженной инновационной продукции.

В результате проведенного исследования по применению дифференциальных уравнений в прогнозировании инноваций можно сделать вывод, что данный математический инструментарий позволяет более точно по сравнению с многофакторными моделями и трендами учитывать изменения переменных динамического процесса на всем исследуемом интервале с учетом запаздывания. При этом дифференциальные уравнения помогают определить область устойчивости динамической системы, а также решение может быть исследовано как с возрастанием по времени, так и с убыванием.

Список литературы

1. *Багриновский К.А.* Модели и методы совершенствования механизмов инновационного развития экономики России на основе адаптивного управления // Экономика и математические методы. 2011. Т. 47. № 4. С. 111–121.

2. *Банников В.А.* Векторные модели авторегрессии и коррекции регрессионных остатков // Прикладная эконометрика. 2006. № 3. С. 96–120.

3. *Берндт Э.Р.* Практика эконометрики. М.: Юнити-Дана, 2005. 388 с.

4. *Болдыревский П.Б.* Основные элементы системы управления рисками промышленных предприятий. URL: http://www.unn.ru/pages/issues/vestnik/19931778_2013_-_3-3_unicode/5.pdf.

5. *Болдыревский П.Б., Кистанова Л.А.* Математико-статистическая модель инновационной деятельности промышленных предприятий // Экономический анализ: теория и практика. 2014. № 15. С. 8–12.

6. *Болдыревский П.Б., Кистанова Л.А.* Модели прогнозирования основных показателей инновационной деятельности промышленных предприятий // Экономический анализ: теория и практика. 2014. № 29. С. 52–57.

7. *Болдыревский П.Б., Кистанова Л.А.* Оценка эффективности инновационной деятельности промышленных предприятий // Актуальные вопросы науки. 2014. № 12. С. 65–69.

8. *Боровиков В.* STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов. СПб: Питер, 2003. 688 с.

9. *Боровиков В.П., Ивченко Г.И.* Прогнозирование в систем STATISTICA в среде Windows: основы теории и интенсивная практика на компьютере: учеб. пособие. М.: Финансы и статистика, 2006. 367 с.

10. *Громова Н.М., Громова Н.И.* Основы экономического прогнозирования, М.: Академия естествознания, 2006. 457 с.

11. *Гусева И.Б., Клюева М.А.* Методическое сопровождение процесса управления финансами при внедрении инновационных продуктов реакций // Экономический анализ: теория и практика. 2013. № 25. С. 23–32.

12. *Колмановский В.Б., Носов В.Р.* Устойчивость и периодические режимы регулируемых систем с последействием. М.: Наука, 1981. 448 с.

13. Индикаторы инновационной деятельности: 2013. Статистический сборник. М.: НИУ ВШЭ, 2013. 472 с.

14. *Любушин Н.П., Бабичева Н.Э., Королев Д.С.* Экономический анализ возможностей технологического развития России (на примере нанотехнологий) // Экономический анализ: теория и практика. 2012. № 9. С. 2–11.

15. *Магнус Я.Р., Катышев П.К., Пересецкий А.А.* Эконометрика: начальный курс. М.: Дело, 2004. 492 с.

16. *Макаров В.Л.* Обзор математических моделей с инновациями // Экономика и математические методы. 2012. Т. 48. № 2. С. 95–107.

17. *Питухин Е.А., Гуртов В.А., Голубенко В.А.* Моделирование циклических процессов на российском рынке труда // Экономика и математические методы. 2012. Т. 48. № 2. С. 85–94.

18. *Прасолов А.В.* Математические методы экономической динамики: учеб. пособие. СПб: Лань, 2008. 352 с.

19. *Соменкова Н.С., Тихов М.С.* Модели временных рядов в управлении инновационной деятельностью промышленных предприятий. URL http://cyberleninka.ru/article/n/modeli-vremennyh-ryadov-v-upravlenii-innovatsionnoy-deyatelnostyu-promyshlennyh-predpriyatiy.

20. *Соменкова Н.С.* Методы управления рисками инновационной деятельности промышленных предприятий. URL: http://www.unn.ru/pages/issues/vestnik/99999999_West_2012_6%281%29/34.pdf.

21. *Сошникова Л.А., Тамашевич В.Н., Махнач Л.А.* Многомерный статистический анализ. Минск: БГЭУ, 2004. 162 с.

22. *Тронина И.А.* Управление инновационными процессами в машиностроении России: проблемы и предпосылки // Экономический анализ: теория и практика. 2010. № 30. С. 21–29.

23. Эконометрика: учебник / под ред. И.И. Елисеевой. М.: Финансы и статистика, 2005. 450 с.

Economic analysis: theory and practice
ISSN 2311-8725 (Online)
ISSN 2073-039X (Print)

PREDICTION OF THE DYNAMICS OF INNOVATION ACTIVITY OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

Pavel B. BOLDYREVSKII,
Lyudmila A. KISTANOVA,
Igor' V. RAKHMELEVICH

Abstract

One of the most important factors determining the currently increasing competitiveness and successful functioning of the Russian industry is the development of all areas of innovation. Therefore, companies should develop effective methods and adhere to the concept of strategic innovation-driven growth. In this paper, we analyze the dynamics of innovation activity indicators of manufacturing enterprises, which play an important role in the economy. Using econometric techniques, we have built regression models to determine the effect of factors on the dynamics of innovation activity of the machine-building complex. Based on the collected and processed statistical data reflecting the innovative activity of industrial enterprises of the Russian Federation in the field of machinery and equipment for the period from 2002 to 2013, we have developed dynamic models enabling to forecast the volume of shipped innovative products and industrial machinery and equipment. The set of criteria for assessing the quality of regression equations leads to the conclusion that the proposed mathematical and statistical models are adequate and can be used by enterprises in developing the innovative strategic concept. On the basis of the proposed econometric equations, we have developed models that include the differential equations, which take into account a continuous connection between the factors and the response of the system, and the relationship between the factor and the dynamics of change in the response under the influence of this factor. We demonstrate the advantages of such models as compared to the multifactorial regression models, and the prospect of their use to predict and parameters and analyze the sustainability of innovation processes development.

Keywords: innovation-driven activity, production, machinery and equipment, dynamics model, differential equations, forecasting

References

1. Bagrinovskii K.A. Modeli i metody sovershenstvovaniya mekhanizmov innovatsionnogo razvitiya ekonomiki Rossii na osnove adaptivnogo upravleniya [Models and methods of improving the mechanisms of innovative development of the Russian economy based on adaptive control]. *Ekonomika i matematicheskie metody = Economics and Mathematical Methods*, 2011, vol. 47, no. 4, pp. 111–121.

2. Bannikov V.A. Vektornye modeli avtoregressii i korrektsii regressionnykh ostatkov [Vector autoregressive models and models of regression remainder correction]. *Prikladnaya ekonometrika = Applied Econometrics*, 2006, no. 3, pp. 96–120.

3. Berndt E.R. *Praktika ekonometriki* [The Practice of Econometrics]. Moscow, YUNITI-DANA Publ., 2005, 388 p.

4. Boldyrevskii P.B. *Osnovnye elementy sistemy upravleniya riskami promyshlennykh predpriyatii* [The main elements of the risk management system of industrial enterprises]. Available at: http://www.unn.ru/pages/issues/vestnik/19931778_2013_-_3-3_unicode/5.pdf. (In Russ.)

5. Boldyrevskii P.B., Kistanova L.A. Matematiko-statisticheskaya model' innovatsionnoi deyatel'nosti promyshlennykh predpriyatii [A mathematical and statistical model of innovation activity of industrial enterprises]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika = Economic analysis: theory and practice*, 2014, no. 15, pp. 8–12.

6. Boldyrevskii P.B., Kistanova L.A. Modeli prognozirovaniya osnovnykh pokazatelei innovatsionnoi deyatel'nosti promyshlennykh predpriyatii [Forecasting models of basic indicators of innovation activity of industrial enterprises]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika = Economic analysis: theory and practice*, 2014, no. 29, pp. 52–57.

7. Boldyrevskii P.B., Kistanova L.A. Otsenka effektivnosti innovatsionnoi deyatel'nosti promyshlennykh predpriyatii [Evaluation of the effectiveness of innovation ac-

tivity of industrial enterprises]. *Aktual'nye voprosy nauki = Actual problems of science*, 2014, no. 12, pp. 65–69.

8. Borovikov V. *STATISTICA. Iskusstvo analiza dannykh na komp'yutere: dlya professionalov* [STATISTICA. The art of data analysis on the computer: for professionals]. St. Petersburg, Piter Publ., 2003, 688 p.

9. Borovikov V.P., Ivchenko G.I. *Prognozirovanie v sisteme STATISTICA v srede Windows: osnovy teorii i intensivnaya praktika na komp'yutere: ucheb. posobie* [Forecasting in the STATISTICA system in the Windows environment: fundamentals of the theory and intensive practice on computer: a manual]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 2006, 367 p.

10. Gromova N.M., Gromova N.I. *Osnovy ekonomicheskogo prognozirovaniya* [Fundamentals of economic forecasting]. Moscow, Akademiya Estestvoznaniya Publ., 2006, 457 p.

11. Guseva I.B., Klyueva M.A. Metodicheskoe soprovozhdenie protsessa upravleniya finansami pri vnedrenii innovatsionnykh produktov reaktsii [Methodological support for the financial management process with the introduction of innovative reaction products]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika = Economic analysis: theory and practice*, 2013, no. 25, pp. 23–32.

12. Kolmanovskii V.B., Nosov V.R. *Ustoichivost' i periodicheskie rezhimy reguliruemykh sistem s posledeistviem* [Stability and periodic modes of controllable systems with after effect]. Moscow, Nauka Publ., 1981, 448 p.

13. *Indikatory innovatsionnoi deyatel'nosti: 2013. Statisticheskii sbornik* [Indicators of innovation: 2013. A statistical collected book]. Moscow, NRU HSE Publ., 2013, 472 p.

14. Lyubushin N.P., Babicheva N.E., Korolev D.S. Ekonomicheskii analiz vozmozhnostei tekhnologicheskogo razvitiya Rossii (na primere nanotekhnologii) [Economic analysis of technological development in Russia (the nanotechnologies case)]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika = Economic analysis: theory and practice*, 2012, no. 9, pp. 2–11.

15. Magnus Ya.R., Katyshev P.K., Peresetskii A.A. *Ekonometrika: nachal'nyi kurs* [Econometrics: a basic course]. Moscow, Delo Publ., 2004, 492 p.

16. Makarov V.L. Obzor matematicheskikh modelei s innovatsiyami [A review of mathematical models with innovation]. *Ekonomika i matematicheskie metody = Economics and Mathematical Methods*, 2012, vol. 48, no. 2, pp. 95–107.

17. Pitukhin E.A., Gurtov V.A., Golubenko V.A. Modelirovanie tsiklicheskikh protsessov na rossiiskom rynke truda [Modeling of cyclic processes on the Russian labor market]. *Ekonomika i matematicheskie metody = Economics and Mathematical Methods*, 2012, vol. 48, no. 2, pp. 85–94.

18. Prasolov A.V. *Matematicheskie metody ekonomicheskoi dinamiki* [Mathematical methods of economic dynamics: a manual]. St. Petersburg, Lan' Publ., 2008, 352 p.

19. Somenkova N.S., Tikhov M.S. *Modeli vremennykh ryadov v upravlenii innovatsionnoi deyatel'nost'yu promyshlennykh predpriyatii* [The time series model in the management of innovative activity of industrial enterprises]. Available at: http://cyberleninka.ru/article/n/modeli-vremennyh-ryadov-v-upravlenii-innovatsionnoy-deyatelnostyu-promyshlennyh-predpriyatiy. (In Russ.)

20. Somenkova N.S. *Metody upravleniya riskami innovatsionnoi deyatel'nosti promyshlennykh predpriyatii* [Methods of innovation risk management of industrial enterprises]. Available at: http://www.unn.ru/pages/issues/vestnik/99999999_West_2012_6%281%29/34.pdf. (In Russ.)

21. Soshnikova L.A., Tamashevich V.N., Makhnach L.A. *Mnogomernyi statisticheskii analiz* [Multivariate statistical analysis]. Minsk, BSEU Publ., 2004, 162 p.

22. Tronina I.A. Upravlenie innovatsionnymi protsessami v mashinostroenii Rossii: problemy i predposylki [The management of innovative processes in Russian engineering: problems and background]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika = Economic analysis: theory and practice*, 2010, no. 30, pp. 21–29.

23. *Ekonometrika* [Econometrics]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 2005, 450 p.

Pavel B. BOLDYREVSKII
Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod – National Research University, Nizhny Novgorod, Russian Federation
bpavel2@rambler.ru

Lyudmila A. KISTANOVA
Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod – National Research University, Nizhny Novgorod, Russian Federation
lakistanova@mail.ru

Igor' V. RAKHMELEVICH
Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod – National Research University, Nizhny Novgorod, Russian Federation
igor-kitpd@yandex.ru