

# ОБ ОДНОМ КЛАССЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ. ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И АПОСТЕРИОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОСОБЕННОСТЕЙ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

К.К. Рыбников<sup>1</sup>, А.Г. Чернышова<sup>2</sup>, Н.В. Евсеев<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ООО «Полиэдр», 115035, Москва, набережная Овчинниковская, д. 22/24, стр. 2

<sup>2</sup>Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московской области «Технологический университет», 141070, Московская обл., г. Королёв, ул. Гагарина, д. 42

<sup>3</sup>МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

chernyshova-anna@bk.ru

Рассмотрены примеры использования метода наименьших квадратов для анализа биржевых котировок и прогнозирования будущей цены, а также меры экологического контроля предприятий. Математические модели применяются для прогнозирования экономических процессов около 100 лет, в настоящее время этот процесс переживает определенный кризис. Только создание новых подходов к анализу временных рядов (определение начальных точек и периодов для волн Эллиота, промежутков стабильности, учет психологических факторов поведения биржевых игроков и т. д.) даст новые результаты в формировании методов прогнозирования. Построение функции  $F(x)$  является основной математического аппарата для определения трендов экономических процессов, по которым можно не только разрабатывать прогнозы, но и проводить апостериорный анализ. Предполагается, что началом ценового движения служат так называемые промежутки стабильности, т. е. консолидация тренда в узком ценовом коридоре. Определение промежутков стабильности является отдельной, пока мало изученной, задачей. Только комплексное использование старых методов и новых аналитических подходов (возможно, эвристических) приведет к успеху, который будет зависеть от совместных усилий экономистов, социологов и математиков. Предложенный подход является универсальным для первичного математического анализа не только временных рядов, определенных количественными показателями технических и экономических процессов, но и аналогичных показателей при изучении математических моделей в социологии.

**Ключевые слова:** ММВБ, котировки, биржа, метод наименьших квадратов, экологический контроль, аналитика, прогнозирование

**Ссылка для цитирования:** Рыбников К.К., Чернышова А.Г., Евсеев Н.В. Об одном классе математических методов анализа временных рядов. Возможности прогнозирования и апостериорных исследований особенностей социально-экономических процессов // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 6. С. 109–113. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-6-109-113

История развития математических подходов к анализу экономических процессов насчитывает около 100 лет [1]. Математические модели в экономике можно разделить на два основных класса: аналитические модели и модели прогнозов. К первому классу можно отнести модели планирования, основанные на использовании методов математического программирования, а также статистические иллюстрации. Первой моделью второго класса, видимо, стала модель денежной эмиссии О.Ю. Шмидта, представленная в 1922 г. Она горячо обсуждалась как экономистами, так и математиками [2, 3]. Именно эта дискуссия дала толчок развитию математических методов в экономике.

В дальнейшем на первое место выдвинулись модели трендов временных рядов, математической основой которых является метод наименьших квадратов (МНК).

## Цель работы

Реализация этого метода приводит к построению приближенной формулы

$$f(x) \approx F(x),$$

где  $f(x)$  — функция, заданная таблично,  $f(x_i) = y_i$  ( $i = 0, 1, 2, \dots, n$ );

$$F(x) = \sum_{j=0}^m a_j x_j.$$

Само построение заключается в решении задачи выбора коэффициентов  $a_0, a_1, \dots, a_m$  таким образом, чтобы сумма квадратов отклонений значений функции от значений  $F(x)$  в точках  $x_0, x_1, \dots, x_n$

$$S(a_0, a_1, \dots, a_m) = \sum_{i=0}^n (F(x_i) - y_i)^2$$

была бы наименьшей.

Эта задача сводится к определению единственного решения системы  $m+1$  линейных уравнений с  $m+1$  неизвестными  $a_0, a_1, \dots, a_m$ :

$$\frac{\partial S(a_0, a_1, \dots, a_m)}{\partial a_k} = 0, \quad k = 0, 1, \dots, m.$$

Построение функции  $F(x)$  является основой математического аппарата для определения трен-

дов экономических процессов, по которым можно не только разрабатывать прогнозы, но и проводить апостериорный анализ [3–9].

Примером первого направления может служить прогноз движения цены на акции МТС на ММВБ за период с 08.10.2013 по 04.04.2014 (рис. 1). В соответствии с этими данными цена на акции МТС с ноября по декабрь 2013 г. колеблется между 225 и 240 руб. Однако с января по апрель 2014 г. цена возрастает с 230 до 280 руб.

## Результаты и обсуждение

Анализ этих данные позволяет утверждать, что построение общего тренда невозможно. Однако, если взять данные только за четыре месяца (с 09.01.2014 по 04.04.2014) (см. рис. 1), то МНК приводит к построению простого квадратного тренда  $f(x) = x^2 + 7x + 237$ , где  $x$  — показатель временной шкалы.

Так, для значений  $x$ , соответствующих началу апреля 2014 г., значение тренда равно 281. В действительности цена акций МТС к началу апреля 2014 г. составила 280 руб. Таким образом, если рассматривать значение 281 как прогноз, его следует признать удовлетворительным.

Авторы предполагают, что началом ценового движения служат так называемые промежутки стабильности, т. е. консолидация тренда в узком ценовом коридоре. К сожалению, определение промежутков стабильности является отдельной, пока мало изученной, задачей. Другой перспективный подход — анализ (или прогноз) изменений в инвестиционной политике корпораций.

Аналогичные прогнозы можно строить для любых трендовых данных, например для транс-

портного и промышленного индекса Доу. Очевидной трудностью при определении фьючерсных прогнозов является необходимость правильно угадывать периоды, соответствующие волнам Эллиота [8, 9] (именно восходящей волне Эллиота соответствует рассмотренный выше период — с 09.01.2014 по 04.04.2014).

В настоящее время процесс развития методов прогнозирования переживает определенный кризис. Ясно, что только создание новых подходов к анализу временных рядов (определение начальных точек и периодов для волн Эллиота, определение промежутков стабильности, учет психологических факторов поведения биржевых игроков и т. д.) даст новые результаты в формировании методов прогнозирования. При этом продвижение в разработке данных методов возможно только при использовании старых классических способов анализа устойчивых по тенденции процессов, основанных на применении метода наименьших квадратов. Разумеется, простое использование этого метода не всегда возможно, но авторы полагают, что только комплексное применение старых методов и новых аналитических подходов (может быть, эвристических) приведет к успеху, который будет зависеть от совместных усилий экономистов, социологов и математиков [6, 7]. Последние должны сыграть главную роль в создании математических моделей, позволяющих делать относительно достоверные прогнозы.

Авторы считают себя вправе сопроводить это утверждение цитатой из знаменитого романа Станислава Лема «Возвращение со звезд» [10]. В далеком будущем математик-тополог Ремер (в прошлом инженер) говорит главному герою,



Рис. 1. Прогноз движения цены на акции МТС

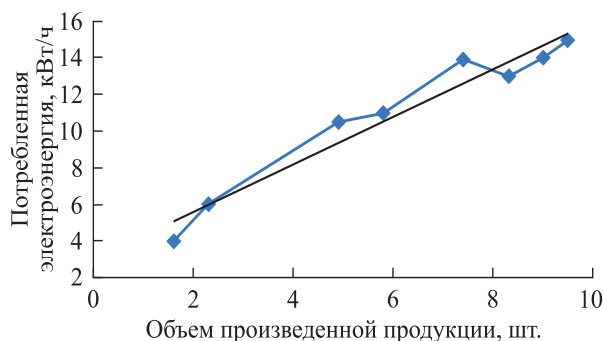
Fig. 1. The forecast of the price fluctuations for MTS shares

космонавту Элу Бреггу: «И знаете, почему именно математика? Потому что она выше всего. Работы Абеля и Кронекера сегодня так же хороши, как четыреста лет назад, и так будет всегда. Возникают новые пути, но и старые ведут дальше. Они не зарастают. Там... там — вечность. Только математика не боится ее».

Другим направлением в использовании трендов является апостериорный анализ. В работе [5] при изучении зависимости энергозатрат от объема производства для ряда цеховых подразделений предприятия «Воскресенские минеральные удобрения» был построен линейный тренд. При изучении показателей, значительно уклоняющихся от тренда, было выявлено, что эти ситуации соответствуют отступлениям от стандартного технологического режима (дополнительное плавление комовой серы, промывка цистерн, переработка кислоты с повышенной концентрацией). Выявление подобных ситуаций может быть полезно при осуществлении экологического контроля [4, 5].

В работах [4, 5] предлагался регрессионный анализ взаимосвязи объема производства продукции и потребления электрической и тепловой энергии на основных подразделениях предприятий «Воскресенские минеральные удобрения» и «Аммофос» в 1995–1998 гг. Были построены временные тренды по каждому из цехов, причем практически во всех случаях для линейных трендов были получены достаточно большие коэффициенты детерминации, что говорит о сильной зависимости расхода энергоресурсов от объема производства. В качестве примера можно рассмотреть график зависимости количества потребленной электроэнергии от валового объема производства, произведенной цехом ЭФК № 3 в III квартале 1995–1997 гг. (рис. 2).

Уравнение регрессии имеет вид  $y = 127,58x + 316053$ . Коэффициент детерминации равен 0,9577.

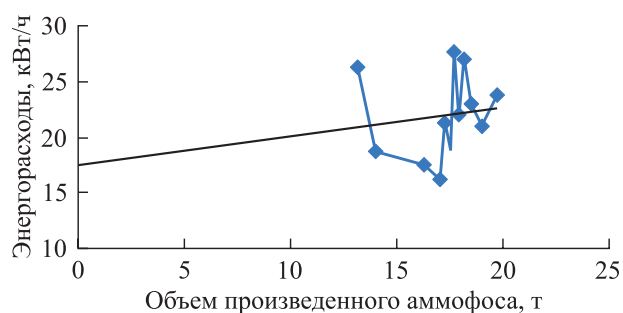


**Рис. 2.** Зависимость количества потребленной электроэнергии от валового объема произведенной продукции для цеха ЭФК № 3

**Fig. 2.** Dependence of electricity consumption on the gross volume of products produced for the workshop EFC No. 3

Только в редких случаях первоначальный анализ деятельности цехов показал неадекватность модели линейной регрессии функции зависимости расхода энергорасходов от объема производства. Эти случаи, все без исключения, касались расхода теплоэнергии.

Приведем пример, сопоставив графики временных рядов и линейных трендов для одного такого подразделения, производящего аммофос (рис. 3).



**Рис. 3.** Зависимость энергорасходов от объема производства аммофоса

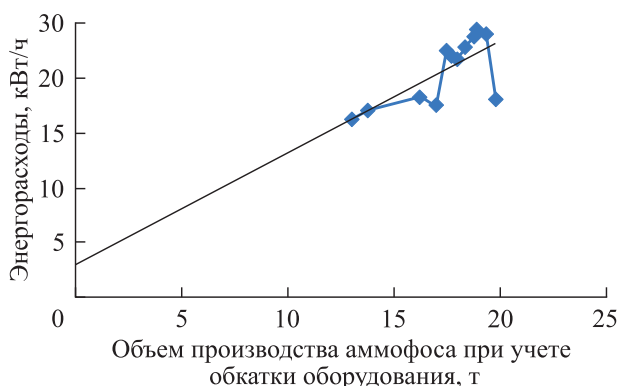
**Fig. 3.** Dependence of energy consumption on the volume of ammophos production

Линейный тренд имеет вид  $y = 109,28x + 188263$ . Коэффициент регрессии равен 0,5328.

В этом случае не учитывались изменения в стандартном технологическом режиме производства. Будем называть эти изменения обкаткой оборудования.

Когда учет таких процессов производится (рис. 4), получаем уточнение линейного тренда ( $y = 97,965x + 366987$ ) и коэффициент регрессии, равный 0,5815. Заметим, что коэффициент регрессии повысился. Аналогичные результаты получены практически по всем подразделениям.

Ясно, что аналогичный подход, связанный с выявлением неадекватности линейной модели,



**Рис. 4.** Зависимость энергорасходов от объема производства аммофоса при учете обкатки оборудования

**Fig. 4.** Dependence of energy consumption on the volume of ammophos production while running-in of the equipment

позволяет обнаружить случаи технических сбоев или технологической перестройки стандартных режимов производства, что, как правило, приводит к выбросам загрязняющих веществ в окружающую среду. Выявление и анализ таких ситуаций должны быть включены в систему экологического контроля за работой предприятия, работающего в режиме наращивания объемов выпускаемой продукции.

## Выводы

Таким образом, перспективы апостериорного технологического анализа точек, значительно отклоняющихся от тренда, связаны с возможным выявлением уже имевших место случаев нарушения предприятием экологических норм, а также предпосылок возникновения техногенных катастроф.

Заметим также, что предложенный подход является универсальным для первичного математического анализа не только временных рядов, определенных количественными показателями технических и экономических процессов, но и аналогичных показателей при изучении математических моделей в социологии.

## Список литературы

- [1] Евсеев Н.В., Рыбников К.К., Чернышова А.Г. Классические тренды технических и экономических процессов, основанные на методе наименьших квадратов, и перспективы их использования // *Обзорные прикладной и промышленной математики*, 2014. Т. 21. Вып. 4. С. 356–357.
- [2] Белых А.А. История советских экономико-математических исследований (1917 г. – начало 60-х гг.). Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1990. 152 с.
- [3] Рыбников К.К. Математики Московского государственного университета леса. М.: МГУЛ, 2009. 132 с.
- [4] Рыбников М.К., Рыбников К.К. Методы выявления изменений в стандартном режиме производства на химических предприятиях, производящих минеральные удобрения, как информация для экологического контроля // *Тр. Междунар. конф. «Математические и физические методы в экологии и мониторинге природной среды»*, Королёв, 2001. М.: МГУЛ, 2001. С. 238–240.
- [5] Рыбников К.К. О возможностях использования результатов анализа трендовых моделей объема энергоснабжения в условиях растущего объема производства для экологического контроля // *Обзорные прикладной и промышленной математики*, 2003. Т. 10. Вып. 1. С. 213–214.
- [6] Савицкий А.А., Горшенина Н.С. Инвестиционный проект как форма реализации инвестиционной политики корпоративных структур // *Вестник МГУЛ – Лесной вестник*, 2009. № 4. С. 168–170.
- [7] Курзин П.А., Курзина В.М., Рыбников М.К., Рыбников К.К. Математические основы принятия управленческих решений. М.: МГУЛ, 2007. 150 с.
- [8] Мэрфи Дж.Дж. Технический анализ финансовых рынков: полный справочник по методам и практике трейдинга / пер. с англ. О. Новицкой, В. Сидорова, М.: Вильямс, 2016. 496 с.
- [9] Арталь Л., Салес Ж. Ипотека и уравнения. Математика в экономике. Мир математики. Т. 19. М.: ДеАгостини, 2014. 160 с.
- [10] Лем С. Возвращение со звезд / пер. с польск. Е. Вайсброта, Р. Нудельмана. М.: АСТ, 2015. 320 с.

## Сведения об авторах

**Рыбников Константин Константинович** — кандидат физ.-мат. наук, доцент, директор ООО «Полиэдр», [kkrybnikov@mail.ru](mailto:kkrybnikov@mail.ru)

**Чернышова Анна Геннадьевна** — специалист по учебно-методической работе I категории кафедры гуманитарных и социальных дисциплин Государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Московской области «Технологический университет», [chernyshova-anna@bk.ru](mailto:chernyshova-anna@bk.ru)

**Евсеев Никита Владимирович** — магистрант космического факультета МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [evseevnickita@gmail.com](mailto:evseevnickita@gmail.com)

Статья поступила в редакцию 26.09.2017 г.

# ONE CLASS OF MATHEMATICAL METHODS FOR TIME SERIES ANALYSIS. THE POSSIBILITIES OF PREDICTION AND A POSTERIORI ANALYSIS OF THE PECULIARITIES OF THE ECONOMIC PROCESSES

K.K. Rybnikov<sup>1</sup>, A.G. Chernyshova<sup>2</sup>, N.V. Evseev<sup>3</sup>

<sup>1</sup> «Polyhedron», 115035, Moscow, Ovchinnikovskaya embankment, 22/24 build. 2

<sup>2</sup> University of Technology, Gagarin street, 42, Korolev, Moscow region, 141070

<sup>3</sup> BMSTU (Mytishchi branch), 1 st. Institutskaya, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

chernyshova-anna@bk.ru

Examples of application of the method of least squares for the analysis of exchange quotations and forecasting of the future price are considered. Measures of environmental control of enterprises are also considered. For the application of mathematical methods in the economy there is a sufficiently large layer for studying, since the application of mathematical models for forecasting economic processes hardly amounts to more than 100 years. At present, the development of forecasting methods is undergoing a certain crisis. It is clear that only the creation of new approaches to the analysis of time series (the determination of the starting points and periods for Elliott waves, stability intervals, the accounting of psychological factors of the behavior of exchange players, etc.) will give new results in the formation of forecasting methods. The construction of the function  $F(x)$  is the basis of the mathematical apparatus for determining the trends of economic processes, according to which it is possible not only to develop forecasts, but also to make a posteriori analysis. The authors suggest that the beginning of the price movement is the so-called stability intervals, that is, the consolidation of the trend in a narrow price corridor. Unfortunately, the problem of determining intervals of stability is a separate, yet little studied task. Of course, the simple use of this least-squares method is not always possible, but the authors believe that only a comprehensive use of old methods and new analytical (maybe sometimes heuristic) approaches will lead to success, which will depend on the joint efforts of economists, sociologists and mathematicians. The authors would like to note that the approach presented in the article is universal for the primary mathematical analysis of not only time series determined by quantitative indicators of technical and economic processes, but also similar indicators in the study of mathematical models in sociology.

**Keywords:** MICEX, quotations, exchange, least square method, environmental monitoring, analytics, prediction

**Suggested citation:** Rybnikov K.K., Chernyshova A.G., Evseev N.V. *Ob odnom klasse matematicheskikh metodov analiza vremennykh ryadov. Vozможности prognizirovaniya i aposteriornykh issledovaniy osobennostey sotsial'no-ekonomicheskikh protsessov* [One class of mathematical methods for time series analysis. The possibilities of prediction and a posteriori analysis of the peculiarities of the economic processes]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 6, pp. 109–113. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-6-109-113

## References

- [1] Evseev N.V., Rybnikov K.K., Chernyshova A.G. *Klassicheskie trendy tekhnicheskikh i ekonomicheskikh protsessov, osnovannye na metode naimen'shikh kvadratov, i perspektivy ikh ispol'zovaniya* [Classical trends of technical and economic processes based on the method of least squares, and the prospects for their use] *Survey of Applied and Industrial Mathematics*, 2014, vol. 21, iss. 4, pp. 356–357.
- [2] Belykh A.A. *Istoriya sovetskikh ekonomiko-matematicheskikh issledovaniy (1917 – nachalo 60-kh godov)* [The history of Soviet economic and mathematical research (1917 – early 60-ies)]. Leningrad: Leningrad University Press Publ., 1990, 152 p.
- [3] Rybnikov K.K. *Matematiki Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa* [Mathematics of Moscow State Forest University]. Moscow: MGUL Publ., 2009, 132 p.
- [4] Rybnikov M.K., Rybnikov K.K. *Metody vyavleniya izmeneniy v standartnom rezhime proizvodstva na khimicheskikh predpriyatiyakh, proizvodnyashchikh mineral'nye udobreniya, kak informatsiya dlya ekologicheskogo kontrolya* [Methods for detecting changes in the standard production mode at chemical plants producing mineral fertilizers, as information for environmental control]. *Trudy Mezhdunarodnoy konferentsii «Matematicheskie i fizicheskie metody v ekologii i monitoringe prirodnoy sredy»*, Korolev [Proceedings of the international conference «Mathematical and physical methods in ecology and monitoring of the natural environment», Korolev, 2001]. Moscow: MGUL Publ., 2001, pp. 238–240.
- [5] Rybnikov K.K. *O vozможnostyakh ispol'zovaniya rezul'tatov analiza trendovykh modeley ob'ema energozatrat v usloviyakh rastushchego ob'yema proizvodstva dlya ekologicheskogo kontrolya* [On the possibilities of using the results of the analysis of trend models of the volume of energy consumption in conditions of a growing volume of production for environmental control]. *Obozrenie prikladnoy i promyshlennoy matematiki* [Survey of Applied and Industrial Mathematics], 2003, v. 10, iss. 1, pp. 213–214.
- [6] Savitskiy A.A., Gopshenina N.S. *Investitsionnyy proekt kak forma realizatsii investitsionnoy politiki korporativnykh struktur* [Investment project as a framework for the implementation of the investment policy of the corporate structure]. *Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy vestnik*, 2009, no. 4, pp. 168–170.
- [7] Kurzin P.A., Kurzina V.M., Rybnikov M.K., Rybnikov K.K. *Matematicheskie osnovy prinyatiya upravlencheskikh resheniy* [Mathematical foundations of making managerial decisions]. Moscow: MGUL Publ., 2007, 150 p.
- [8] Murphy John J. [Technical analysis of financial markets: a complete guide to trading methods and practices]. Moscow: Williams Publ., 2016, 496 p.
- [9] Artal L., Sales J. *Ipoteka i uravneniya. Matematika v ekonomike. Mir Matematiki* [Mortgage and Equations. Mathematics in economics. The World of Mathematics T. 19.]. Moscow: DeAgostini Publ., 2014, 160 p.
- [10] Lem S. *Vozvrashchenie so zvezd* [Return from the stars], trans. from Polish E. Weissbrot, R. Nudelman. Moscow: AST Publ., 2015. 320 p.

## Authors' information

**Rybnikov Konstantin Konstantinovich** — Cand. Sci. (Phys.-Math.), Associate Professor, Director of «Polyhedr Ltd.», [kkrybnikov@mail.ru](mailto:kkrybnikov@mail.ru)

**Chernyshova Anna Gennadievna** — specialist in educational and methodological work of the 1st category of the Department of Humanitarian and Social Disciplines of the University of Technology, [chernyshova-anna@bk.ru](mailto:chernyshova-anna@bk.ru)

**Evseev Nikita Vladimirovich** — master's degree student of Space Faculty of BMSTU (Mytishchi branch), [evseevnickita@gmail.com](mailto:evseevnickita@gmail.com)

Received 26.09.2017