

УДК 338.12.017:332

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ РЕГИОНА

Пищухин А.М., Ахмедьянова Г.Ф.

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», Оренбург,
e-mail: pishchukhin55@mail.ru, ahmedyanova@bk.ru

Исследование посвящено многоуровневому оптимальному управлению уровнем экономической безопасности региона. Управление рассматривается с точки зрения оптимизации состояния пяти основных составляющих: кадрового потенциала, запасов полезных ископаемых и природных ресурсов, промышленного и агропотенциала, сбалансированности регионального бюджета, а так же системы управления регионом, мобилизующей экономику региона к отражению экономических угроз. Составляющие системы экономической безопасности составляют первый уровень управления. В первую очередь, с точки зрения экономической безопасности важна готовность этих составляющих. Поскольку и экономическая безопасность и готовность являются абстрактными объектами управления, они занимают верхние уровни управления. При этом управление с верхнего уровня подразумевает изменение уставок по параметрам, структурные изменения и организационные воздействия на нижних уровнях, создающих благоприятные условия для достижения целей верхнего уровня. Оценка уровня экономической безопасности проводится по трем аспектам: мониторингу текущего состояния экономических угроз, их прогнозу и текущему уровню готовности к их отражению. В работе ставится и решается задача оптимального перераспределения управляющих ресурсов между выбранными пятью составляющими с целью поддержания оптимального уровня экономической безопасности региона. В связи с принятием гипотезы о независимости воздействий и реакций на них и определением вероятности готовности через произведение составляющих, принят критерий в виде логарифма отношения двух вероятностей – экономических угроз и вероятностей готовности к ним составляющих. На основе полученных зависимостей можно разработать алгоритмы управления. Такая методика позволяет оптимизировать расходимые ресурсы управления с максимизацией эффективности их вложений.

Ключевые слова: экономическая безопасность, абстрактный объект управления, параметрическое воздействие, структурное воздействие, организационное воздействие, многоуровневое оптимальное управление

OPTIMUM ECONOMIC SECURITY MANAGEMENT REGION

Pishchukhin A.M., Akhmedyanova G.F.

Orenburg State University, Orenburg, e-mail: pishchukhin55@mail.ru, ahmedyanova@bk.ru

The study is devoted to the multi-level optimal management of the level of economic security of the region. Management is considered from the point of view of optimizing the state of five main components: human resources, reserves of minerals and natural resources, industrial and agricultural potential, the balance of the regional budget, as well as the regional management system that mobilizes the region's economy to reflect economic threats. The components of the economic security system constitute the first level of management. First of all, from the point of view of economic security, the readiness of these components is important. Since both economic security and readiness are abstract control objects, they occupy the upper levels of control. At the same time, management from the upper level implies a change in the settings in terms of parameters, structural changes and organizational impacts at the lower levels, which create favorable conditions for achieving the goals of the upper level. The assessment of the level of economic security is carried out in three aspects: monitoring the current state of economic threats, their forecast and the current level of readiness to repel them. The work poses and solves the problem of optimal redistribution of control resources between the selected five components in order to maintain an optimal level of economic security of the region. In connection with the adoption of the hypothesis about the independence of influences and reactions to them and the determination of the probability of readiness through the product of the components, a criterion was adopted in the form of the logarithm of the ratio of two probabilities – economic threats and the probabilities of readiness for them of the components. On the basis of the obtained dependencies, control algorithms can be developed. This technique allows you to optimize the spent management resources with the maximization of the efficiency of their investments.

Keywords: economic security, abstract control object, parametric impact, structural impact, organizational impact, multilevel optimal control

Экономическая безопасность региона является интегральным отображением состояния экономики региона и, естественно, разные ее аспекты обусловлены материальными носителями, с которых отображено само понятие экономика региона. К такому можно отнести: кадровый потенциал, запасы полезных ископаемых и природных ресурсов, промышленный и агропотен-

циал, сбалансированность регионального бюджета и др. Сюда же добавляется еще и состояние системы управления регионом, а именно, ее способность мобилизовать перечисленные составляющие к противостоянию любым экономическим угрозам.

Чем выше уровни благополучия указанных основных составляющих системы экономической безопасности региона, тем

выше привлекательность этого региона для инвестиций, выше уровень жизни населения. Вследствие этого регион повышает ресурсы, которые можно направить на повышение уровня экономической безопасности. При этом понятно, что вкладывать их надо не «размазывая» равномерно, а кумулятивно, с наилучшими результатами. Проведем, в связи с этим, системный анализ затронутых вопросов.

Экономическая безопасность является абстрактным объектом и не допускает реальных управляющих воздействий на нее, а так же непосредственных измерений для оценки результатов этих воздействий [1], поэтому она делает систему управления иерархической и занимает верхний уровень, как представлено на рис. 1.

Уровень экономической безопасности региона обычно оценивается интегрально [2, 3] по многим показателям: уровню прибыльности предприятий на территории региона, уровню имеющихся запасов и активов, физической и информационной защищенности интересов региона, развитию страхования, привлекательности инвестирования, уровню жизни населения, отлаженностью многочисленных юридических сторон деятельности на территории региона и так далее.

С другой стороны, можно выделить три важных аспекта: оценка результатов текущего мониторинга состояния экономики и прогноз ближайших экономических угроз, а также мониторинг текущего уровня готовности региона к их отражению. К осложняющим обстоятельствам в настоящее время можно отнести многие факторы, в частности, быструю цифровизацию экономики, которая придает ей большую динамику, но многократно увеличивает число экономических угроз [4, 5].

В таких условиях с точки зрения экономической безопасности главным свойством составляющих ее систем должна стать готовность к отражению экономических угроз, поэтому она располагается на втором уровне иерархии. Оценка ее уровня может проводиться тестовыми процедурами, отработанными на результат. Это позволяет гарантировать определенный уровень точности.

Первый уровень управления образуют пять основных составляющих систем, перечисленных выше. При этом в систему управления включено и прогнозирование экономических угроз. Это позволит более точно и адаптивно распределять управляющие ресурсы на повышение уровней готовности составляющих систем, поддерживая оптимальный уровень их готовности к текущему моменту. Понятно, что с верхнего уровня

должны поступать укрупненные и довольно глубокие воздействия, а не мелкие и дублирующие нижние функции управления. Сюда относятся: задание принципиальных значений ключевых параметров (параметрические воздействия), структурные изменения как технологических частей составляющих системы экономической безопасности, так и подсистем управления ими (структурные воздействия), а так же организационные изменения, имеющие целью создание благоприятных условий поддержания должного уровня экономической безопасности.

Примем гипотезу, что вероятность появления экономической угрозы имеет марковскую природу. Марковские модели, как первое приближение в описании случайных процессов, довольно часто применяются в экономике: при исследовании тайваньских бизнес-циклов [6], в управлении цепями поставок [7], в формировании спроса на кредиты [8], для анализа долгосрочных свойств акций и дивидендов в США [9], в моделировании процесса формирования цены [10]. Достоинством такого подхода является возможность описания процессов уравнением Колмогорова:

$$\frac{\partial \omega_1}{\partial t} = -a_1 \frac{\partial \omega_1}{\partial x} + b_1 \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial x^2}, \quad (1)$$

где a_1 – коэффициент сноса; b_1 – коэффициент диффузии, ω_1 – плотность описанной выше вероятности, зависящая от времени и какого-либо интегрального показателя x , специфичного именно для данного региона. Это может быть валютный курс или индекс фондовой биржи [11], если существуют обширные контакты с международным рынком, биржевой индекс отечественной фирмы, имеющей инвестиции на местном рынке и так далее.

Уравнение (1) может быть решено с использованием функции Грина [12]. Однако сначала его необходимо привести к каноническому виду

$$\frac{\partial w}{\partial t} = b_1 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}. \quad (2)$$

Осуществляется это с помощью подстановки:

$$\omega_1 = e^{\mu x + t} \cdot w, \text{ при } \mu = \frac{a_1}{2b_1}, \lambda = -\frac{a_1^2}{4b_1}. \quad (3)$$

При начальном условии

$$w(x, 0) = \varphi(x), 0 < x < \infty. \quad (4)$$

И граничном условии

$$w(0, t) = 0. \quad (5)$$

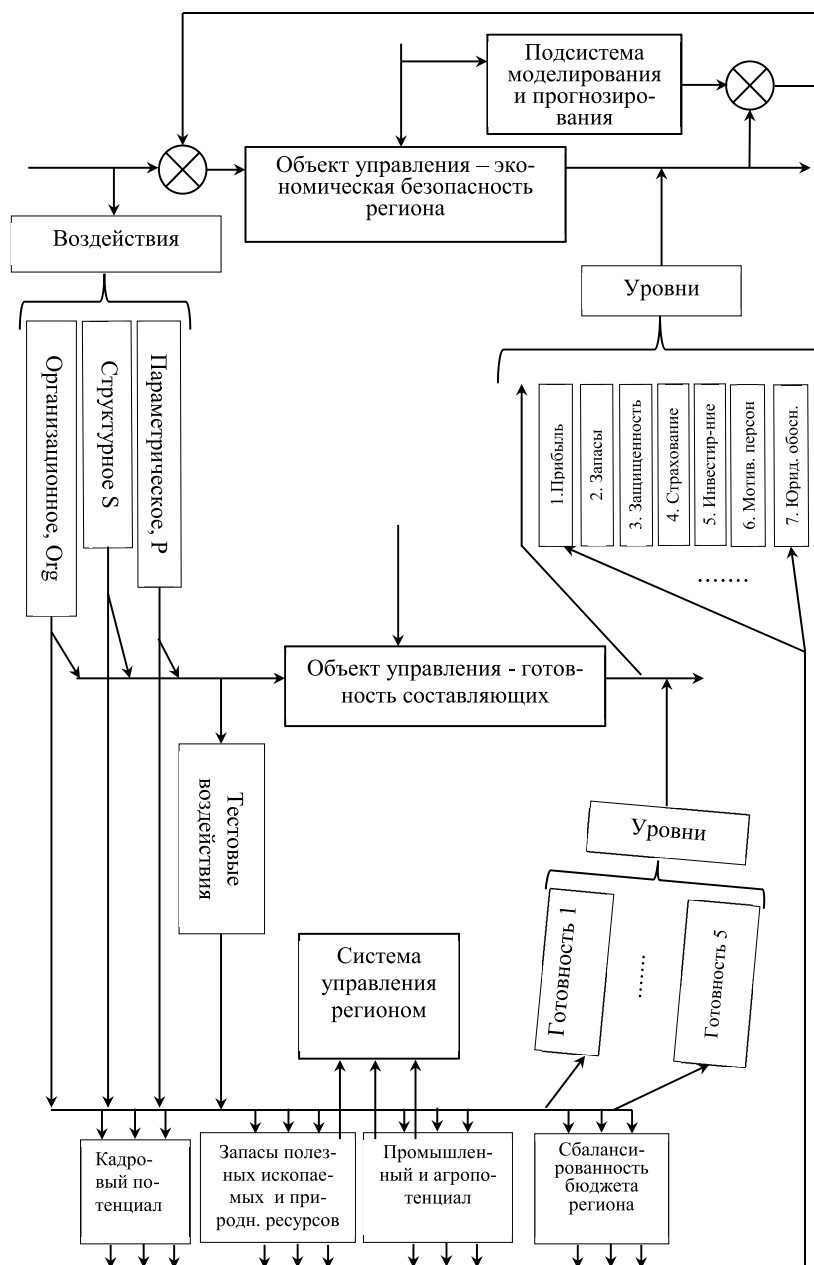


Рис. 1. Трехуровневая схема управления уровнем экономической безопасности предприятия

Тогда решение уравнения (1) представляется в виде [4, с. 236]

$$\omega_1 = e^{\frac{a_1}{2b_1}x - \frac{a_1^2}{4b_1}t} \cdot \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \int_0^{\infty} \frac{1}{\sqrt{b_1 t}} \left\{ e^{-\frac{(x-\xi)^2}{4b_1 t}} - e^{-\frac{(x+\xi)^2}{4b_1 t}} \right\} \varphi(\xi) d\xi. \quad (6)$$

Готовность региона отразить возникшую угрозу будем оценивать уровнем вероятности ее успешного отражения и, в первом приближении, для адекватной реакции региона, последняя должна подчиняться похожему на (1) уравнению с добавлением в правой части управляющего воздействия $u(x, t)$ [12]. При этом плотность вероятности обозначается ω_2 и зависит от тех же параметров, что и вероятность из уравнения (1):

$$\frac{\partial \omega_2}{\partial t} = -a_2 \frac{\partial \omega_2}{\partial x} + b_2 \frac{\partial^2 \omega_2}{\partial x^2} + u(x, t). \quad (7)$$

Прологарифмировав уравнения (1) и (7) и вычитая из первого уравнения второе, получим уравнение в частных производных от величины

$$\ln \frac{\omega_1}{\omega_2} = \ln \omega_1 - \ln \omega_2. \quad (8)$$

Эта величина равна единице, только в случае равенства, входящих в нее плотностей вероятности и может быть положительной в случае превосходства ω_2 и отрицательной в противоположном случае. Такое представление удобно в случае принятия гипотезы о том, что плотность вероятности готовности региона складывается из плотностей вероятностей готовности составляющих его системы экономической безопасности, как независимых друг от друга. Тогда плотность вероятности готовности региона равна произведению плотностей вероятностей составляющих, перечисленных выше и формула (8) представляется в следующем виде

$$\omega_2 = \omega_2^1 \omega_2^2 \omega_2^3 \omega_2^4 \omega_2^5. \quad (9)$$

Примем так же гипотезу о том, что, в первом приближении, все пять составляющих по обеспечению необходимого уровня системы экономической безопасности подчиняются уравнению Колмогорова.

$$\frac{\partial \omega_2^i}{\partial t} = -a_2^i \frac{\partial \omega_2^i}{\partial x} + b_2^i \frac{\partial^2 \omega_2^i}{\partial x^2} + u_i(x, t), i = 1, \dots, 5. \quad (10)$$

А формула (8) преобразуется к следующему виду

$$\ln \frac{\omega_1}{\omega_2} = \ln \omega_1 - \ln \omega_2^1 - \ln \omega_2^2 - \ln \omega_2^3 - \ln \omega_2^4 - \ln \omega_2^5. \quad (11)$$

Для нахождения соответствующих управляющих воздействий воспользуемся функционалом, включающем потери от неоптимального управления в виде вышеописанного логарифма, с одной стороны, и затраты на управление с другой.

$$F = \int_0^{t_f} (q \left| \ln \frac{\omega_1}{\omega_2} \right| + u^2) dt, \quad (12)$$

где q – размерный весовой коэффициент.

Как видим, здесь подинтегральная функция видоизменена по сравнению с квадратичными потерями в классическом случае выбрано слагаемое в виде описанного выше логарифма отношения двух вероятностей.

Применим для решения данной задачи метод Эйлера-Лагранжа. Построим лагранжиан

$$L = q \left| \ln \frac{\omega_1}{\omega_2} \right| + \sum_1^5 (u_i)^2 + \sum_1^5 \psi_i \left(-a_2^i \frac{\partial \omega_2^i}{\partial x} + b_2^i \frac{\partial^2 \omega_2^i}{\partial x^2} + u_i - \frac{\partial \omega_2^i}{\partial t} \right). \quad (13)$$

На практике управляющие воздействия направлены на повышение уровней вероятности успешного отражения угроз составляющими, а снижение этой вероятности происходит естественным образом в силу релаксационности происходящих вероятностных процессов, описываемых уравнениями (10). Это означает, что знак абсолютной величины в уравнении (13) можно опустить.

Составляем уравнения Эйлера по всем переменным:

$$\left\{ \begin{array}{l} -\frac{q\omega_2^i}{\omega_1} + \dot{\psi}_i = 0 \\ 2u_i + \psi_i = 0 \\ -a_2^i \frac{\partial \omega_2^i}{\partial x} + b_2^i \frac{\partial^2 \omega_2^i}{\partial x^2} + u_i - \frac{\partial \omega_2^i}{\partial t} = 0 \end{array} \right. \quad i = 1, \dots, 5. \quad (14)$$

Подстановка ψ_i из второго уравнения этой системы в первое дает:

$$\frac{q\omega_2^i}{\omega_1} = -2\frac{\partial u_i}{\partial t} \quad \text{или} \quad \omega_2^i = -\frac{2\omega_1}{q}\frac{\partial u_i}{\partial t}. \quad (15)$$

Подставляем полученное выражение в третье уравнение системы (14):

$$a_2^i \frac{\partial \omega_1}{\partial x} \frac{\partial u_i}{\partial t} - b_2^i \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial x^2} \frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{q}{2} u_i + \frac{\partial \omega_1}{\partial t} \frac{\partial u_i}{\partial t} = 0. \quad (16)$$

Выполняя дифференцирование получим

$$\omega_1 \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} + \left(a_2^i \frac{\partial \omega_1}{\partial x} - b_2^i \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial x^2} + \frac{\partial \omega_1}{\partial t} \right) \frac{\partial u_i}{\partial t} - \left(a_2^i \omega_1 - 2b_2^i \frac{\partial \omega_1}{\partial x} \right) \frac{\partial^2 u_i}{\partial x \partial t} - b_2^i \omega_1 \frac{\partial^3 u_i}{\partial x^2 \partial t} + \frac{q}{2} u_i = 0 \quad i = 1, \dots, 5. \quad (17)$$

Замечаем, если уравнения, описывающие вероятностные процессы возникновения угрозы и формирования уровня готовности к их отражению имеют одинаковые коэффициенты сноса и диффузии, второе слагаемое пропадает.

Воспользуемся методом разделения переменных, для чего представим управляющее воздействие в виде произведения двух функций

$$u = p(x) \cdot v(t). \quad (18)$$

Подставляя это выражение в (21) получим:

$$\omega_1 p \frac{d^2 v}{dt^2} - \left(a_2^i \omega_1 - 2b_2^i \frac{\partial \omega_1}{\partial x} \right) \frac{dp}{dx} \cdot \frac{dv}{dt} - b_2^i \omega_1 \frac{d^2 p}{dx^2} \cdot \frac{dv}{dt} - \frac{q}{2} p \cdot v = 0. \quad (19)$$

Разделив обе части (18) на $p\omega_1 \frac{dv}{dt}$ имеем

$$\frac{1}{\frac{dv}{dt}} \frac{d^2 v}{dt^2} - \left(a_2^i - \frac{2b_2^i}{\omega_1} \frac{\partial \omega_1}{\partial x} \right) \frac{1}{p} \frac{dp}{dx} - \frac{b_2^i}{p} \frac{d^2 p}{dx^2} - \frac{q}{2\omega_1} \frac{dv}{dt} v = 0. \quad (20)$$

Учитывая, что ω_1 мы можем определить по (6), разделяем переменные

$$\frac{1}{\frac{dv}{dt}} \frac{d^2 v}{dt^2} - \frac{q}{2\omega_1} \frac{dv}{dt} v = \left(a_2^i - \frac{2b_2^i}{\omega_1} \frac{\partial \omega_1}{\partial x} \right) \frac{1}{p} \frac{dp}{dx} + \frac{b_2^i}{p} \frac{d^2 p}{dx^2} = M. \quad (21)$$

Таким образом, решение уравнения (20) сводится к решению системы двух уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d^2 v}{dt^2} - M \frac{dv}{dt} - \frac{q}{2\omega_1} v = 0 \\ \frac{d^2 p}{dx^2} - \left(a_2^i - \frac{2b_2^i}{\omega_1} \frac{\partial \omega_1}{\partial x} \right) \frac{dp}{dx} - \frac{M}{b_2^i} p = 0 \end{array} \right. \quad (22)$$

По своей структуре эти уравнения подобны, полученным в работе [13]. Их решение выражается через экспоненты и при фиксированных значениях ω_1 отражается в соответствии с графиками, приведенными на рис. 2.

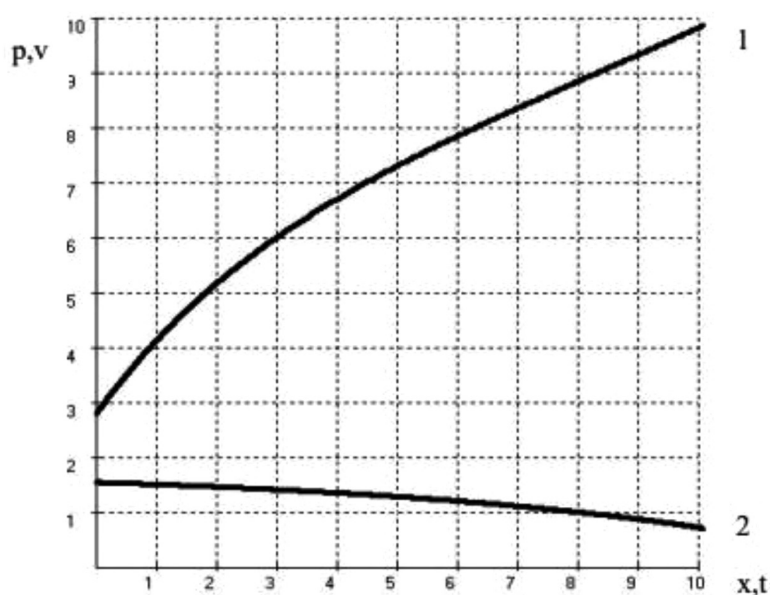


Рис. 2. Изменения составляющих управляющего воздействия: 1 – $p(x)$; 2 – $v(t)$

Однако есть и весьма существенное отличие от результатов работы [13], поскольку в явном виде выражена зависимость коэффициентов в уравнении, определяющем величину оптимальных управляющих воздействий, от поведения вероятности возникновения экономических угроз. Это, в свою очередь, позволит проводить более тонкий анализ взаимосвязей описываемых экономических процессов.

Заключение

Таким образом, системный анализ управления уровнем экономической безопасности региона позволил установить значительную специфику осуществляемых управленческих процедур, связанных с формированием оценки уровней управляемых величин и интеграцией управляющих воздействий. Удобство выделения уровней управления связано с непересекаемостью достигаемых целей и, следовательно, четким разделением затрат управляющих ресурсов, направляемых на их достижение. Разработанная методика перераспределения управляющих ресурсов позволяет максимизировать уровень экономической безопасности даже при малых ресурсах. Исследование ограничивается основными составляющими, но разработанная методика универсальна и допускает большую детализацию.

Список литературы

1. Ахмедьянова Г.Ф., Пищухин А.М., Пищухина Т.А. Исследование алгоритмов управления абстрактным объектом // *Фундаментальные исследования*. 2018. № 4. С. 34–38.

2. Акбердина В.В., Гребенкин А.В., Смирнова О.П. Комплексный инструментальный оценки экономической безопасности отраслей экономики: региональный аспект // *Экономика региона*. 2017. Т. 13. Вып. 4. С. 1264–1279. DOI: 10.17059/2017-4-23.

3. Сигов В.И., Песоцкий А.А. Безопасность экономического пространства региона: концептуальные основы и система показателей // *Экономика региона*. 2017. Т. 13. Вып. 4. С. 1236–1250. DOI: 10.17059/2017-4-21.

4. Викторова Н.В., Каримова Д.В., Камнева А.В., Перминов В.С. Обеспечение экономической безопасности при внедрении систем электронного документооборота в условиях цифровой трансформации бизнеса // *Вопросы инновационной экономики*. 2020. Т. 10. № 1. С. 57–70. DOI: 10.18334/vines.10.1.41532.

5. Лев М.Ю., Лещенко Ю.Г. Цифровая экономика: на пути к стратегии будущего в контексте обеспечения экономической безопасности // *Вопросы инновационной экономики*. 2020. Т. 10. № 1. С. 25–44. DOI: 10.18334/vines.10.1.100646.

6. Kuan Chung-Ming. Markov switching model. *Quantile*. 2013. № 11. P. 13–39.

7. Соколов Г., Волобуева Е. Марковская модель оптимизации процесса поставки товаров с одношаговой потребительской ценностью // *Логистика*. 2012. № 11. С. 46–49.

8. Безбородова А. Кредитный бум: марковские модели с переключением режимов // *Банковский вестник*. 2015. № 9. С. 10–17.

9. Psaradakis Z., Sola M., Spagnolo F. On Markov Error Correction Models, with an Application to Stock Prices and Dividends. *Journal of Applied Econometrics*. 2004. № 19 (1). P. 6988.

10. Бурмистров А.В., Новиков А.В. Стохастическая кинетическая модель формирования цены // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2017. № 07(61). Ч. 3. С. 107–112.

11. Справочник мировых фондовых индексов. [Электронный ресурс]. URL: <https://ffin.ru/market/directory/indexes/> (дата обращения: 16.11.2020).

12. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1977. 736 с.

13. Пищухин А.М. Вероятностная модель согласования производственного процесса с региональным рынком // *Вестник Самарского государственного технического университета*. Серия: Технические науки. 2019. № 1 (61). С. 20–33.