

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

© Р. Г. Идрисов

Башкирский государственный университет
Стерлитамакский филиал

Россия, Республика Башкортостан, 453103 г. Стерлитамак, пр. Ленина, 49.

Тел.: +7 (3473) 33 98 18.

Email: idrisovrg@yandex.ru

В работе предпринята попытка дать представление о предмете экономфизики как о направлении научных исследований, находящихся на стыке двух наук: экономики и физики. Описаны такие базовые понятия экономфизики, как функция спроса и производственная функция. В качестве примеров, иллюстрирующих применение методов физических исследований в решении задач экономики, приведены некоторые базовые модели: модель борьбы условных информационных, модель скрытого банкротства, модель перехода из высокопроизводительного состояния в низкопроизводительное, модель отрыва финансового сектора от реального. Рассматриваемые модели позволяют описать динамику состояния предприятия, выбрать направления его оптимального функционирования, указывают возможные варианты развития различных секторов экономики, а также государства в целом.

Анализ приведенных моделей, а также встречающихся в литературе, позволил выявить некоторые преимущества методов физических исследований, а также их ограничения.

Ключевые слова: экономфизика, функция спроса, производственная функция, базовые модели.

В настоящее время экономика как наука достаточно хорошо развита, многочисленные исследования укрепляют теоретические основы экономики, создан достаточно эффективный аппарат математических методов исследования. Однако присутствует некоторая обособленность от естественных наук, их методов исследования. Имея в наличии огромное количество реальных эмпирических данных, экономическая теория не позволяет оценить и объяснить некоторые явления, происходящие в развитии современной экономики последних лет. В то время как в естественных науках уже накоплен большой опыт исследования динамических моделей развивающихся систем, которой и является общество. Например, владея методами статистической физики и потенциалом вычислительных машин, можно провести детальный анализ развития экономических явлений и создать инструменты регулирования, рычаги влияния на развитие экономики, общества, минуя кризисные состояния.

Физики, обращаясь к решению экономических задач, использовали метод аналогий. Изучая конкретный экономический процесс, выделяют его характерные признаки, по которым находят некоторые аналоги среди физических процессов. Имеющуюся базовую модель физического процесса адаптируют к исследованию экономического. Решая такую модель физики уже не следуют догмам экономических теорий, а делают объективные выводы. Поэтому зачастую такие взаимодействия приводят к обоюдной критике между экономистами и физиками. Физики упрекают экономистов за неумение четко анализировать эмпирические данные, которые, бывает, противоречат построенным теориям. Экономисты недовольны тем, что физики формально подходят к применению моделей, не учитывают их экономического смысла. Достаточно подробно о начале таких взаимоотношений написано в [1]. Термин экономфизика введен в 1995 г. Юджином Стенли [2], определяя его как слово, означающее работу физика, когда он занимается вопросами экономики.

В [1] также был проведен анализ термина «экономфизика», приведены различные его определения, взятые из научной литературы.

Экономфизика базируется на принципах, которые учитывают неравномерность в развитии процессов (цикличность развития, чередование стадий развития) и поведенческие реакции индивидов. Одной из задач экономфизики является описание системы и предска-

ние их поведения (наличие точек смены состояний, приближение к таким точкам). За описание систем отвечают модели, которые описывают динамику входящих переменных. Далее рассмотрим некоторые из таких моделей, которые качественно описывают явления.

I. Основные понятия

В экономике поведенческие реакции (коллективные социально-психологические факторы) субъектов являются аналогом поля сил в физике. В каждом конкретном случае поведенческие реакции задаются исходя из конкретных условий и несут несколько гипотетический характер.

I.1. Функция спроса

В экономике при анализе состояния общества большую роль играет такой показатель, как величина спроса на тот или иной вид продукции. Как пример, можно привести функции Торнквиста

$$Q_I(r) = \frac{a_1 r}{r + b_1}, Q_{II}(r) = \frac{a_2 (r - r_{\min})}{r + b_2},$$

для товаров первой и второй необходимости соответственно. В качестве аргумента используется покупа-

тельская способность $r = \frac{P}{p}$, зависящая от P – дохода населения, p – цены продукта. A_1, b_1, a_2, b_2 – параметров модели.

В [3] проводится анализ функции спроса, которую можно задать в виде:

$$Q(r) = Q_I(r) + Q_{II}(r),$$

где $r = \frac{U}{p}$ – также покупательская способность,

но уже зависящая от U – средств населения (накопленных), p – цены.

Относительно функции $Q(r)$ в [4] сделано допущение об однопродуктовом приближении. Это означает, что в стационарных условиях в качестве аргумента функции спроса нельзя использовать величину дохода, как это делалось в функции Торнквиста, поскольку на приобретение продукции тратился бы весь доход.

Вид функций $Q_I(r)$ и $Q_{II}(r)$ определяется так же, как и у соответствующих функций Торнквиста.

$Q_I(r) = Q_{I,0} \left[\frac{r}{r+r_{I,0}} + \varepsilon_1 r \right]$ – функция спроса на товары первой необходимости,

$Q_{II}(r) = \theta(r - r_{min}) \left[Q_{II,0} \frac{r - r_{min}}{(r - r_{min}) + r_{II,0}} + \varepsilon_2(r - r_{min}) \right]$ – функция спроса на товары второй необходимости.
 $\theta(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } x \leq 0, \\ 1, & \text{при } x > 0. \end{cases}$

Значения функции спроса зависят от величин, которые носят эмпирический характер. Поясним их суть.

При отсутствии накоплений спрос отсутствует: $Q_I(0) = 0$. При неограниченном увеличении покупательской способности $r \rightarrow \infty$, $Q_I(r)$, возрастает и стремится к $Q_{I,0}$, что выражается насыщением товарами первой необходимости, т.е. достигается $Q_{I,0}$ – прожиточный минимум. При этом $Q_I'(r) < 0$ (функция выпукла вверх), что означает достаточно медленное возрастание спроса.

Аналогично и $Q_{II}(r)$ может достигать предела насыщения при $r \rightarrow \infty$, $Q_{II,0}$ – величина полного удовлетворения товарами второй необходимости.

Функция $Q_{II}(r)$ возникает лишь тогда, когда покупательская способность достигает значения r_{min} – покупательская способность, до которой приобретаются только товары первой необходимости, что выражается коэффициентом $\theta(r - r_{min})$.

Показатели $r_{I,0}$, $r_{II,0}$ достаточно вариативны, отражают психологический фактор в обществе, и для их определения применяются экспертные оценки. $r_{I,0}$ – значение покупательской способности, для которого достигается половина прожиточного минимума, $r_{II,0}$ – величина, характеризующая поведение людей со средним достатком.

Величины ε_1 , $\varepsilon_2 > 0$ отражают рост спроса на товары с увеличением накоплений.

1.2. Производственная функция

Для описания базовых моделей эконофизики в [3] предложена функция, определяющая количество произведенного продукта $F(r, n, \tau)$.

Функция зависит от переменных: τ – длительность производственного цикла (взятая за единицу времени), n – количество работников, занятых на производстве:

$$F(V, n, \tau) = nF\left(\frac{V}{n}, \tau\right) = \begin{cases} n \frac{V}{pn\tau} = \frac{r}{\tau} & \text{при } \frac{r}{n\tau} \leq F_{max}, \\ nF_{max} & \text{при } \frac{r}{n\tau} \geq F_{max}, \end{cases}$$

где F_{max} – максимальное количество продукта, производимого одним работником, V – оборотные средства и $\frac{V}{n}$ – оборотные средства в расчете на одного работника, r – вложенные (оборотные) средства.

В параметрах производственной функции влияние психологического фактора так же, как и в функции спроса, является существенным. Это касается F_{max} и τ .

1.3. Экономическая структура общества

Еще одним примером, описывающим поведение элементов общества, являются функции распределения людей по ликвидным накоплениям $p(U)$ и доходам за единицу времени $p(y)$ [3]. Эти функции используются при формировании налоговой политики, в вопросах ценообразования.

II. Базовые модели

В своих исследованиях физики обращаются к огромному количеству эмпирических данных, накопленных за достаточно длительный период времени (сведения о стоимости ценных бумаг, курсов валют, доходах, уровнях потребления различных групп насе-

ления, объемов производства отраслей и т.д.). Как было уже сказано, в адаптированной модели применяются существующие законы физики, математические методы исследования.

Известна модель Лотки–Вольтерры – модель, описывающая динамику численности двух представителей видов (хищник–жертва, паразит–хозяин), которую можно использовать для описания различных видов взаимодействия двух видов. Обобщением модели Лотки–Вольтерры считается динамическая система уравнений

$$\dot{x}_i = x_i \left(c_i - \sum_{j \neq i}^n b_{ij} x_j - a_i x_i \right), \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

a_i, b_{ij}, c_i – коэффициенты, отражающие взаимодействие между представителями одной и различных групп.

II.1. Базовая модель борьбы условных информаций [5]

Модель содержит дифференциальные уравнения вида

$$\frac{du_i}{dt} = \frac{1}{\tau_i} u_i - \sum_{j \neq i}^n b_{ij} u_j u_i - a_i u_i^2 + D_i \Delta u_i, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

где u_i – число носителей i -ой информации, $\frac{1}{\tau_i}$ – ко-

эффициент авторепродукции со временем τ_i , $\frac{1}{\tau_i} u_i$ –

воспроизведение носителями i -ой информации, $\sum_{i \neq j}^n b_{ij} u_i u_j$ – взаимодействие носителей отличных информаций, его отрицательность означает уменьшение общего количества представителей обоих видов информаций, $a_i u_i^2$ – ограничение, накладываемое конфликтами между носителями одинаковой информации, $D_i \Delta u_i$ – слагаемое, описывающее миграцию носителей, Δ – лапласиан.

Как видим, модель борьбы условных информаций является аналогом модели Лотки–Вольтерры.

Примерами условной информаций могут служить, например, языки народов мира, правила поведения, религия, валюта и т.д., являющиеся выбором отдельных элементов социума. А потому модель борьбы условных информаций может быть использована для описания взаимодействия однотипных видов.

В общем виде решение системы уравнений носит достаточно сложный характер, поэтому в базовых случаях рассматривают взаимодействие двух объектов.

Так, например, в работе [6] рассматривается модель конкуренции двух фирм – производителей товаров долговременного пользования. В качестве динамических переменных u_i здесь выступают не сами потребители, предпочитающие продукцию той или иной фирмы, а объемы оборотных средств фирм. Проведен некоторый анализ возможности работы отечественных предприятий в условиях конкуренции с зарубежными производителями аналогичного товара.

В [7] модель борьбы условных информаций используется для моделирования возникновения денег как некоей информации, построены фазовые портреты модели, указывающие возможные варианты взаимодействия двух мировых валют на рынке.

В работе [8] модель описывает потоки денежных средств между макроэкономическими агентами (производственный сектор, фондовый рынок, коммерче-

ские банки), указывает случаи возникновения «пирамид» и «пузырей».

Результатом применения модели борьбы условных информационных является установление факта либо мирного сосуществования объектов, либо полного вытеснения одним из них других. Также модель позволяет описать переход от одного состояния к другому.

II.2. Модель скрытого банкротства [9]

Система дифференциальных уравнений

$$\frac{dM'}{dt} = -\frac{M'}{\tau} + p_m Q_0 \frac{P'}{P_0 + P'} - k' P' - k', \quad (1)$$

$$\frac{dP'}{dt} = -p Q_0 \frac{P'}{P_0 + P'} + \frac{M'}{\tau p} \quad (2)$$

описывает работу предприятия в процессе производства и реализации продукции.

Уравнение (1) описывает динамику изменения оборотных средств. Первое слагаемое есть затраты на производство: M' – оборотные средства; τ – время оборота. Второе – средства, полученные предприятием за счет реализации продукции: P' – количество продукции на складе; P_0 – емкость склада; p_m – рыночная стоимость продукта; p – его себестоимость; Q_0 – объем максимальной реализации продукции на рынке. Последние слагаемые – это издержки производства: $k' = p_m / \tau_c$ – издержки на содержание продукции на складе (включая аренду, порчу продукции, истечение срока годности и т.п.); τ_c – срок годности продукции; k' – постоянные издержки.

Уравнение (2) описывает изменение количества продукции на складе. Первое слагаемое отвечает за убыль в процессе реализации, а второе – за наполнение склада за счет производства.

Величина p_m является внешним параметром, она устанавливается во всем обществе (в результате конкуренции и т.п.). В физике аналогом является т.н. «самосогласованное поле». Себестоимость p – внутренний параметр. Она зависит от уровня технологии в данной фирме и в разных фирмах различна.

Дан пример модельного расчета цикла по стадиям при выбранных значениях параметров. Показаны условия состояния фирмы, при которых идет успешное функционирование и предпосылки перехода к состоянию скрытого банкротства. Модель позволяет оценить возможности наступления банкротства фирмы и выбрать такую стратегию в управлении, которая позволит избежать катастрофических ситуаций.

В [10] эта же модель была предложена для описания функционирования предприятия в условиях минимальных издержек на соблюдение экологического режима.

II.3. Модель перехода из высокопроизводительного состояния в низкопроизводительное (модель фазового перехода)

Базовая модель, описывающая функционирование государства в условиях рыночной экономики при отсутствии влияния других стран (модель закрытого общества), описана в [4] и дополнена в [11].

Для формулировки модели используются понятия спроса и производственной функции, описанные выше (предполагается, как и ранее, что модель однопродуктовая). В качестве динамических переменных выступают накопления «трудящихся», количество продуктов на складе, цена продукта.

Прежде всего, обозначим n' – число «трудящихся», m' – число «владельцев», U_m , U_n – сумма накоплений «владельцев» и «трудящихся» соответственно, P_m , P_n – их доходы, $m' U_m + n' U_n = M$ – количество де-

нег в обществе, $n' + m' = N$ – число экономически активных людей, которое будем считать постоянным. Далее введем относительные численности $m = m'/N$, $n = n'/N$ и относи-

тельные накопления $m U_m + n U_n = \frac{M}{N} = U$, $r_m = U_m/p$,

$r_n = U_n/p$ – покупательские способности каждого класса.

Динамика накоплений «трудящихся» выражается балансом их доходов P_n и расходов $Q(r_n)$ (функция спроса):

$$\frac{dU_n}{dt} = p[P_n - Q(r_n)] + \frac{r_n}{p} \frac{dp}{dt},$$

где последнее слагаемое – индексация зарплаты «трудящихся» при ценовой инфляции, учитывая, что количество денег M остается неизменным.

Динамика изменения продукции на складе определяется его производством F (поступлением на склад) и продажей $J(R)$:

$$\frac{dR}{dt} = \gamma[nF(r_m) - J(R)],$$

γ – безразмерный коэффициент, определяемый уровнем развития логистики склада.

Изменение цены p характеризуется балансом спроса на товар и его производством:

$$\frac{dp}{dt} = \alpha N[nQ(r_n) + mQ(r_m) - nF(r_m)].$$

Анализ и решение данной модели аналогичны в физике исследованию изолированной системы и ее фазовых состояний и фазовых переходов. Построен и проанализирован фазовый портрет модели. Выявлено, что даже при одинаковых значениях параметров общество может находиться в одном из двух состояний: высокопроизводительном или низкопроизводительном. В каком именно, зависит от управляющих действий. При различных управленческих стратегиях, а также действиях «трудящихся» возможны переходы между состояниями.

На базе приведенной модели была построена динамическая модель макроэкономики России, проанализированы экономические кризисы, начиная с 2004 г.

Указанная модель хорошо воспроизводит сложную динамику около 20 основных макроэкономических показателей за 16 кварталов 2000–2004 гг.

II.4. Модель отрыва финансового сектора от реального

Динамика средств фирмы, находящихся в обороте (реальное производство), описывается уравнением

$$\frac{dM_1}{dt} = \frac{1}{\tau_1} \left(\frac{p_m - p_0}{p_m} \right) M_1 \left(1 - \frac{M_1}{Q_{max} p_m \tau_1} \right),$$

где M_1 – оборотные средства реального сектора фирмы, p_0 – себестоимость единицы выпускаемого продукта, p_m – рыночная стоимость единицы продукта, τ_1 – длительность оборота (производственного цикла), Q_{max} – максимальный спрос на продукт в штуках в единицу времени.

Динамика средств финансового сектора задается уравнением

$$\frac{dM_2}{dt} = \frac{1}{\tau_2} \left(\frac{p_s - p_b}{\bar{p}} - k \right) M_2 (1 - \kappa) \left(1 - \frac{M_2}{M_2} \right).$$

Здесь M_2 – оборотные средства финансового сектора фирмы, p_s – стоимость продажи акций, p_b – стоимость покупки акций, \bar{p} – средняя биржевая цена акции, τ_2 – длительность оборота средств в финансовом секторе, M_2 – максимальные средства финансового сектора.

В работе построена система дифференциальных уравнений, описывающая взаимодействие секторов. Получен критерий их устойчивого сосуществования.

Уравнения, описывающие все рассмотренные выше модели, строятся исходя из физических соображений. В них эти уравнения являются обыкновенными дифференциальными первого порядка. Динамика изменения исследуемого показателя зависит от количественных характеристик либо его самого, либо с ним связанных. Эта зависимость может выражаться линейной функцией, но в общем случае она нелинейна.

Для анализа моделей, описываемых дифференциальными уравнениями, строится фазовая плоскость, дающая визуальное восприятие происходящих процессов.

Резюмируя описанные выше модели, можно сказать, что положительным моментом применения физики в экономических вопросах является тот большой вклад, который вносят объективные методы исследования, обработки огромного количества эмпирических данных. При этом повышаются требования к этим данным, и теоретический анализ их заменяется объективными моделями, качественно описывающими процессы.

Модели отвечают на вопрос: «Что будет, если ...?», т.е. дают предполагаемую реакцию системы и развитие ситуации при различных исходных положениях и текущих воздействиях. И уже эти реакции исследуются, проверяются опытным путем.

При всей привлекательности применения физических методов исследования экономических процессов все же существуют некоторые вопросы, вносящие некоторые ограничения.

В качестве исходных данных во всех моделях присутствуют переменные, которые не имеют известных заранее значений, нет их официальных статистических исследований. Они определяются лишь косвенно, например, методом экспертных оценок (зависимость величины спроса от накоплений, максимальная производительность сотрудника и т.д.). Присутствуют величины, которые зависят от психологических «свойств» индивидов (параметры функции спроса на товары второй необходимости) и поэтому бывает неясно, с какой точки зрения физики их описать.

Важным моментом является и то, что в физике изменение показателей характеризуется скоростью (на сколько изменились), а в экономике – темпами (во сколько раз изменились). Отсюда следует, что в экономике абсолютная размерность величины не имеет такого важного значения, как в физике.

Во многих моделях рассуждения опираются на физические законы сохранения энергии, что выражается в неизменности количества денег, участников в экономической системе. Такие предпосылки, как известно, далеки от реальной действительности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Водозазский А. А. Начала эконофизики и количественная определенность первых экономических законов. Новочеркасск: НОК, 2013. 227 с.
2. Stanley H. E., et al. Similarities and differences between physics and economics // *Physica A*. 2001. Vol. 299, №1. P. 1–15.
3. Чернавский Д. С., Старков Н. И., Щербаков А. В. О проблемах физической экономики // *Успехи физических наук*. 2002. Т. 172, №9. С. 1045–1066.
4. Чернавский Д. С., Старков Н. И., Щербаков А. В. Динамическая модель закрытого общества (институциональные ловушки и кризисы) // *Матем. моделирование*. 2001. Т. 13, №11. С. 97–115.
5. Чернавский Д. С. Синергетика и Информация. М.: УРСС, 2004. 288 с.
6. Чернавский Д. С., Щербаков А. В., Зульпукаров М.-Г. М. Модель конкуренции. М.: Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша, 2006. №64. 22 с.
7. Чернавский Д. С., Старков Н. И. Математическое моделирование возникновения денег и борьбы валют // *Проекты и риски будущего. Концепции, модели, инструменты, прогнозы*. М.: ЛИБРОКОМ, 2010. С. 197–207.
8. Малков С. Ю., Старков Н. И., Чернавский Д. С. и др. Модель финансовых «пузырей» на фондовом рынке // *Мировая динамика: Закономерности, тенденции, перспективы*. М.: URSS, 2014. С. 449–461.
9. Чернавский Д. С., Щербаков А. В., Соловьев С. А., Зайцев С. В. Математическая модель деятельности малого инновационного предприятия. Явление скрытого банкротства. М.: Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша, 2001. №82. 30 с.
10. Чернавский Д. С., Васильева Л. Ю., Чернавская Н. М., Романова Е. Ю. Математическая модель перехода предприятий к оптимальному эколого-экономическому режиму работы // *Вестник МГТУ «СТАНКИН»*. 2012. №3(22). С. 110–114.
11. Чернавский Д. С., Малков С. Ю., Старков Н. И., Коссе Ю. В. Оборонно-промышленный комплекс и развитие экономики России // *Стратегическая стабильность*. 2004. №1. С. 37–47.
12. Эконофизика. Современная физика в поисках экономической теории. М.: МИФИ, 2007. 624 с.
13. Романовский М. Ю., Романовский Ю. М. Введение в эконофизику. Статистические и динамические модели. М.: ИКИ, 2007. 280 с.
14. Мантенья Р. Н., Стенли Г. Ю. Введение в эконофизику. Корреляции и сложности в финансах / пер. с англ. М.: URSS, 2009. 192 с.
15. Чернавский Д. С., Старков Н. И., Малков С. Ю., Коссе Ю. В., Щербаков А. В. Об эконофизике и ее месте в современной теоретической экономике // *Успехи физических наук*. 2011. Т. 181, №7. С. 767–773.
16. Словохотов Ю. Л. Физика и социофизика. Ч. 2. Сети социальных взаимодействий. Эконофизика // *Проблемы управления*. 2012. №2. С. 2–31.

Поступила в редакцию 01.03.2015 г.

MODELS AND METHODS OF PHYSICAL ECONOMICS© **R. G. Idrisov**

*Bashkir State University, Sterlitamak branch
49 Lenin Ave, 453103 Sterlitamak, Republic of Bashkortostan, Russia.*

Phone: +7 (3473) 33 98 18.

Email: idrisovrg@yandex.ru

An attempt to give an idea of econophysics as a trend of scientific investigations based on the combination of the two sciences: economics and physics is presented in the article. Prerequisites that led to possibility of application of experience of physicists in economy are defined. Such basic notions of econophysics are given as a demand function and a productive function. Some basic models illustrating an application of the methods of physics studies in the solution of the economics problems are given: a model of the struggle of conditional information, a model of an implicit bankruptcy, a model of a transfer from a highly productive state into a lowly productive one, a model of a separation of a financial sector from a real one. Models for ordinary differential equations of the first order are presented. A phase plane is built for their analysis. It gives a visual idea of the processes under study. Such models give an opportunity to describe a firm's dynamics, to choose directions of its optimum functioning, specify possible options of development of different sectors of economics and the whole state. The analysis of the given models as well of those given in the literature let us find out some advantages of the methods of physics studies as well as their restrictions.

Keywords: *econophysics, demand function, production function, basic models.*

Published in Russian. Do not hesitate to contact us at bulletin_bsu@mail.ru if you need translation of the article.

REFERENCES

1. Vodolazskii A. A. Nachala ekonofiziki i kolichestvennaya opredelennost' pervykh ekonomicheskikh zakonov [Basics of econophysics and quantitative definiteness of the first economic laws]. Novocheboksarsk: NOK, 2013.
2. Stanley H. E., et al. Similarities and differences between physics and economics. *Physica A*. 2001. Vol. 299, No. 1. Pp. 1–15.
3. Chernavskii D. S., Starkov N. I., Shcherbakov A. V. *Uspekhi fizicheskikh nauk*. 2002. Vol. 172, No. 9. Pp. 1045–1066.
4. Chernavskii D. S., Starkov N. I., Shcherbakov A. V. *Matem. modelirovanie*. 2001. Vol. 13, No. 11. Pp. 97–115.
5. Chernavskii D. S. *Sinergetika i Informatsiya [Synergetics and information]*. Moscow: URSS, 2004.
6. Chernavskii D. S., Shcherbakov A. V., Zulfukarov M.-G. M. Model' konkurentnosti [Model of competitiveness]. Moscow: Preprinty IPM im. M. V. Keldysha, 2006. No. 64.
7. Chernavskii D. S., Starkov N. I. *Proekty i riski budushchego. Kontseptsii, modeli, instrumenty, prognozy*. Moscow: LIBROKOM, 2010. Pp. 197–207.
8. Malkov S. Yu., Starkov N. I., Chernavskii D. S. i dr. Model' finansovykh «puzyrei» na fondovom rynke. *Mirovaya dinamika: Zakonomernosti, tendentsii, perspektivy*. Moscow: URSS, 2014. Pp. 449–461.
9. Chernavskii D. S., Shcherbakov A. V., Solov'ev S. A., Zaitsev S. V. *Matematicheskaya model' deyatel'nosti malogo innovatsionnogo predpriyatiya. Yavlenie skrytogo bankrotstva [Mathematical model of activity of small innovative enterprise. The phenomenon of latent bankruptcy]*. Moscow: Preprinty IPM im. M. V. Keldysha, 2001. No. 82.
10. Chernavskii D. S., Vasil'eva L. Yu., Chernavskaya N. M., Romanova E. Yu. *Vestnik MGTU «STANKIN»*. 2012. No. 3(22). Pp. 110–114.
11. Chernavskii D. S., Malkov S. Yu., Starkov N. I., Kosse Yu. V. *Strategicheskaya stabil'nost'*. 2004. No. 1. Pp. 37–47.
12. *Ekonofizika. Sovremennaya fizika v poiskakh ekonomicheskoi teorii*. Moscow: MIFI, 2007.
13. Romanovskii M. Yu., Romanovskii Yu. M. *Vvedenie v ekonofiziku. Statisticheskie i dinamicheskie modeli [Introduction to econophysics. Statistic and dynamic models]*. Moscow: IKI, 2007.
14. Manten'ya R. N., Stenli G. Yu. *Vvedenie v ekonofiziku. Korrelyatsii i slozhnosti v finansakh [Correlations and complexity in finance] / per. s angl.* Moscow: URSS, 2009.
15. Chernavskii D. S., Starkov N. I., Malkov S. Yu., Kose Yu. V., Shcherbakov A. V. *Uspekhi fizicheskikh nauk*. 2011. Vol. 181, No. 7. Pp. 767–773.
16. Slovkhotov Yu. L. *Problemy upravleniya*. 2012. No. 2. Pp. 2–31.

Received 01.03.2015.