

**ВОЗМОЖНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ
ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИКИ
ФИНАНСОВОГО РЫНКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПОНЕНТ
ЛОКАЛЬНОГО УРОВНЯ**

Мусин А.Р.* , Сорокин А.С.,****

*Московский финансово-промышленный университет «Синергия», г. Москва

**РЭУ им. Г.В. Плеханова, г. Москва

Поступила в редакцию 01.08.2018, после переработки 27.11.2018.

Настоящая работа посвящена представлению возможностей применения моделей типа локального уровня и локального уровня с дрейфом в рамках решения задачи по выработке общих способов и методик создания экономико-математических моделей динамики временных рядов финансового рынка. В работе на основе введенной исходной прогнозной модели, учитывающей явление отклонения цены от равновесного значения, как одного из традиционных инструментов технического анализа, предложены две дополнительные экономико-математические модели, содержащие компоненты локального уровня и локального уровня с дрейфом. Усложненные соответствующими компонентами модели, будучи оценены с помощью классической калмановской фильтрации на данных трех рассмотренных рынков обменного курса доллара США к рублю (USDRUB), евро (EURUSD) и швейцарскому франку (USDCHF) за 2017 год, продемонстрировали более высокие прогнозные способности, в особенности с точки зрения процента правильных направлений прогноза, по сравнению с исходной моделью, что в свою очередь свидетельствует о потенциальной возможности их реального экономического использования, в частности на представленном в работе примере рынка бинарных опционов.

Ключевые слова: финансовый рынок, прогнозирование, экономико-математические модели, модели локального уровня и локального уровня с дрейфом.

*Вестник ТвГУ. Серия: Прикладная математика. 2018. № 4. С. 76–86.
<https://doi.org/10.26456/vtpmk519>*

Введение

На практике задача прогнозирования динамики финансового рынка, как правило, решается в рамках одного из двух подходов – динамического или статистического. Первый включает в себя использование различного рода линейных и нелинейных эконометрических моделей, методов экспоненциального сглаживания,

выделения трендовых и сезонных компонент [1], а также аппарата стохастического моделирования [2]. В свою очередь, динамический подход к прогнозированию опирается на методики и наработки технического анализа [3, 4], как правило, применяемого профессиональными участниками финансового рынка. В общем виде концепция технического анализа сводится к тому, что динамика финансового рынка определяется поведенческими закономерностями его участников, которые могут быть разбиты на три основных кластера [5]: фундаменталисты (fundamentalists), чартисты (chartists) и инвесторы (investors). На практике, применение технического анализа исследователями и профессиональными участниками финансового рынка происходит путем использования различных инструментов в рамках предрасположенности к одному или нескольким поведенческим кластерам. В качестве примера можно привести анализ скользящих средних (MA), отклонения между которыми, в зависимости от количества исторических лагов исследуемого процесса, могут быть интерпретированы как чартистами, строящими краткосрочные прогнозы, так и инвесторами, опирающимися на долгосрочное прогнозирование.

Как правило, применение статистического подхода к прогнозированию пользуется наибольшей популярностью в среде специалистов, занимающихся академическими исследованиями, в свою очередь динамический подход – в среде отмеченных выше профессиональных участников финансового рынка в целях реального практического использования. Однако, в последнее время в литературе демонстрирует постепенное развитие метод, основанный на использовании экономико-математических моделей и позволяющий совмещать в себе оба описанных подхода к прогнозированию. Соответствующие экономико-математические модели, в большинстве случаев, являются агентно-ориентированными [6] и позволяют описывать эффекты, оказываемые на динамику финансового рынка явлением кластеризации его участников по поведенческим закономерностям. Также важно отметить существующие работы, направленные на построение прогнозных моделей, основанных на применении математического аппарата, используемого в различных областях реальных физических исследований [7], таких как молекулярная физика, термодинамика и гидродинамика. Совмещение описанных ранее подходов к прогнозированию в подобных экономико-математических моделях происходит путем одновременного использования аппаратов дифференциального и традиционного эконометрического исчисления, а также теоретических и практических наработок в области технического анализа. В свою очередь, преимущество таких моделей состоит в том, что они позволяют учитывать индивидуальные структурные особенности динамики исследуемого рынка, при этом все требуемые вычисления, в частности эконометрическая оценка, могут быть проведены в любых статистических программных пакетах [8] и, в том числе, популярных в среде профессиональных участников финансового рынка торговых платформах, например, MetaTrader 4 [9].

Применение описанного аппарата экономико-математического моделирования постепенно приобретает широкую популярность в современных исследованиях по прогнозированию динамики финансового рынка. Создаваемые в рамках данного метода модели обладают различной теоретической основой, вследствие чего их техническая вычислительная реализация может носить достаточно непростой характер. Также является затруднительным вывод каких-либо одинаковых для подобных моделей уравнений в силу того, что индивидуальные характеристические особенности исследуемого рынка могут иметь различное математическое описа-

ние. Несмотря на это, определенные методики, применение которых может носить общий для любых подобных моделей характер, независимо от внутренних закономерностей рассматриваемого финансового рынка, все же могут быть получены и конкретизированы. Таким образом, может быть поставлена задача выработки общих способов и методик построения экономико-математических моделей финансового рынка. На текущий момент в современной литературе не существует такого рода исследований, однако, в частности, можно выделить фундаментальный характер отмеченных выше работ основоположников агентно-ориентированного подхода. Настоящая работа посвящена представлению возможностей использования моделей типа локального уровня и локального уровня с дрейфом, как потенциального вклада в решение поставленной задачи. Далее в работе будут описаны преимущества данных моделей в рамках обобщения статистического и динамического подходов к прогнозированию, а также продемонстрированы их способности при прогнозировании динамики реальных финансовых рынков.

1. Спецификация моделей

В общем виде модель локального уровня описывает процесс случайного блуждания с шумом [10] и, в свою очередь, может быть приведена к виду локального уровня с дрейфом [11] путем добавления дополнительной дрейфовой составляющей. Как правило, подобные типы моделей используется не самостоятельно, а внутри более сложных, как компоненты, позволяющие нужным образом контролировать процесс ошибок и аппроксимировать исследуемый процесс его локальными средними значениями. Математически модели локального уровня и локального уровня с дрейфом могут быть представлены с помощью формул (1)–(2) и (3)–(5) соответственно:

$$y_t = \mu_t, \quad (1)$$

$$\mu_t = \mu_{t-1} + \varepsilon_t, \quad (2)$$

$$y_t = \mu_t, \quad (3)$$

$$\mu_t = \mu_{t-1} + \phi_t, \quad (4)$$

$$\phi_t = \phi_{t-1} + \varepsilon_t, \quad (5)$$

где y_t – значение исследуемого ряда в момент времени t , μ_t и μ_{t-1} – компоненты локального уровня, а ϕ_t и ϕ_{t-1} – составляющие дрейфта в моменты времени t и $t-1$ соответственно, $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$ – процесс независимых одинаково распределенных ошибок.

На данном этапе необходимо продемонстрировать теоретическую значимость описанных моделей с точки зрения совместимости статистического и динамического подходов к прогнозированию, а также решения поставленной задачи формирования общих способов и методик построения экономико-математических моделей динамики финансового рынка. По своей структуре, основанной на использовании аппарата стохастического моделирования, модели (1)–(2) и (3)–(5) представляют собой статистический подход к прогнозированию. Однако, с другой стороны, данные модели, обладая компонентами, отвечающими за зависимость общей динамики процесса от его локальных средних значений, обладают значительным потенциалом использования также в рамках динамического подхода. Как было отмечено

ранее, выражающийся в различных методах технического анализа динамический подход описывает эффекты рыночной динамики, возникающие вследствие явления кластеризации его участников по поведенческим закономерностям. Существование подобной кластеризации иллюстрируется присутствием в рыночных данных исторических паттернов движения цены, так называемых фигур технического анализа, а также зависимостью текущей рыночной конъюнктуры от нахождения цены в локальных окрестностях сформированных исторических торговых уровней, так называемых уровнях поддержки и сопротивления. Анализ подобных уровней, влияющих на поведение цены в своих локальных областях, представляет собой популярный прием технического анализа, используемый множеством профессиональных участников финансового рынка. Повторение определенных сформированных исторических торговых уровней приводит к возникновению дополнительного внимания к ним со стороны участников рынка, что, в свою очередь, создает предпосылки их повторного возникновения в будущем. Как правило, вблизи такого рода исторических уровней участниками торгов выставляются отслеживающие ордера как на заключение, так и на выход из сделок, что в свою очередь еще более усиливает положительную обратную связь данного явления. Помимо этого, необходимо отметить, что в связи со значительным ростом компьютерных вычислительных возможностей последних лет, приобрело популярность использование автоматизированных высокочастотных торговых систем, также ориентирующихся на близость рыночных цен к своим определенным историческим значениям. Таким образом, значительный потенциал представленных моделей локального уровня (1)–(2) и локального уровня с дрейфом (3)–(5), с точки зрения применимости в рамках динамического подхода к прогнозированию, возникает вследствие их возможностей по учету описанного явления зависимости динамики цен на финансовом рынке от своих исторических значений, формирующих определенные повторяющиеся уровни.

Как было отмечено выше, на практике модели (1)–(2) и (3)–(5) применяются не самостоятельно, а внутри более сложных моделей, учитывающих воздействие на исследуемый процесс со стороны дополнительных факторов. В рамках данной работы по демонстрации возможностей использования моделей типа локального уровня и локального уровня с дрейфом для построения экономико-математических моделей динамики финансового рынка была рассмотрена следующая исходная модель, позволяющая прогнозировать будущее движение исследуемой цены на один шаг вперед в зависимости от ее отклонения от своего среднего значения за определенное количество предыдущих периодов:

$$dy_t = \beta(y_{t-1} - \bar{y}) + \varepsilon_t, \quad (6)$$

где y_t – значение исследуемого финансового ряда в момент времени t , dy_t – его абсолютное приращение относительно своего предыдущего значения y_{t-1} , $(y_{t-1} - \bar{y})$ – компонента, иллюстрирующая отклонение значения цены y_{t-1} на шаге $t - 1$ от среднего значения \bar{y} за определенное количество предыдущих периодов, β – оцениваемый коэффициент, $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$ – процесс независимых одинаково распределенных ошибок. В данной модели, а также во всех представленных далее, в качестве \bar{y} будет использовано значение простой скользящей средней (МА) с числом периодов 13. Поиск наиболее оптимальных значений для данного числа периодов не является основным в рамках поставленной в работе задачи, поэтому

выбор значения 13 был сделан исключительно в целях иллюстрации и может быть изменен любым потенциальным исследователем по своему усмотрению. Однако, необходимо отметить, что применимость такого выбора может быть подтверждена путем проведения простого зрительного анализа графика исторических значений цен с добавленной подобной скользящей средней в качестве уровня справедливой цены.

Представленная прогнозная модель рыночной динамики основывается на описанной выше концепции технического анализа, в соответствии с которой поведение цены предполагается зависимым от кластеризации участников по поведенческим закономерностям. Соответственно, рассматриваемая исходная модель (6) оценивает зависимость динамики цены финансового рынка от ее отклонения от среднего (справедливого) значения, что, в свою очередь, иллюстрирует рыночный эффект от воздействия участников фундаменталистов, строящих свои прогнозы и совершающих сделки по направлению к справедливой цене. Представляя собой инструмент динамического подхода к прогнозированию, данная модель была дополнена компонентами моделей локального уровня и локального уровня с дрейфом (1)–(2) и (3)–(5), совмещающими в себе оба подхода. Таким образом, были получены следующие экономико-математические модели:

$$dy_t = \beta(y_{t-1} - \bar{y}) + \mu_t, \quad (7)$$

$$\mu_t = \mu_{t-1} + \varepsilon_t, \quad (8)$$

$$dy_t = \beta(y_{t-1} - \bar{y}) + \mu_t, \quad (9)$$

$$\mu_t = \mu_{t-1} + \phi_t, \quad (10)$$

$$\phi_t = \phi_{t-1} + \varepsilon_t, \quad (11)$$

где μ_t и μ_{t-1} – компоненты локального уровня в моменты времени t и $t - 1$ соответственно, контролирующие эффекты нахождения рыночной цены в локальных окрестностях своих исторических торговых уровней.

2. Результаты оценки моделей и их прогнозных способностей

Построение всех рассматриваемых моделей было проведено в статистическом пакете Stata 12. Для оценки базовой модели (6) был использован метод наименьших квадратов (МНК), в свою очередь модели (7)–(8) и (9)–(11) были оценены с помощью классического фильтра Калмана [12]. Подробно с возможностями использования калмановской фильтрации для оценки моделей типа локального уровня с помощью Stata 12 можно ознакомиться в работе [13]. Иллюстрацией применения подобных моделей для построения прогнозных экономико-математических моделей финансового рынка может служить, например, работа [14]. В качестве выборки данных были использованы значения временных рядов обменных курсов доллара США к российскому рублю (USDRUB), к евро (EURUSD) и к швейцарскому франку (USDCHF) за весь 2017 год с шагом в 1 час. Обучающее множество содержало данные рассмотренных рядов за период с 01.01.2017 по 31.10.2017, в свою очередь тестовое множество – за период с 01.11.2017 по 31.12.2017. Ниже, в таблице (1), приведены результаты оценки рассмотренных моделей.

Таблица 1: Результаты оценки моделей (6), (7)–(8) и (9)–(11)

Валютная пара	Модель	Коэффициент β	Стандартная ошибка	p-значение
USDRUB	(6)	-0,061	0,007	0,000
	(7) – (8)	-1,104	0,012	0,000
	(9) – (11)	-1,491	0,010	0,000
EURUSD	(6)	-0,002	0,001	0,286
	(7) – (8)	-0,930	0,013	0,000
	(9) – (11)	-1,236	0,011	0,000
USDCHF	(6)	-0,015	0,006	0,012
	(7) – (8)	-0,755	0,012	0,000
	(9) – (11)	-1,229	0,011	0,000

Полученные результаты демонстрируют статистически значимые оценки коэффициента β (p-значение $< 0,05$), для всех построенных моделей, за исключением исходной (6) на данных ряда EURUSD, что свидетельствует об их применимости для анализа и прогнозирования динамики рассмотренных финансовых рынков. Из данных таблицы (1) можно видеть, что введение в исходную модель (6) компонент локального уровня и локального уровня с дрейфом позволило значительным образом увеличить статистическую значимость коэффициента β применительно к паре EURUSD. В свою очередь, необходимо отметить общий экономический смысл отрицательной величины данного коэффициента, состоящий в корректировке прогнозов движения цены в сторону снижения или увеличения при ее соответствующем положительном или отрицательном отклонении относительно справедливого значения.

В целях демонстрации преимуществ использования моделей типа локального уровня и локального уровня с дрейфом для описания динамики финансового рынка было проведено сравнение прогнозных способностей всех рассмотренных моделей на данных тестового множества, результаты которого приведены в таблице (2).

Из результатов, приведенных в таблице (2), можно видеть, что все рассмотренные модели обладают приблизительно одинаковой прогнозной способностью с точки зрения показателей минимальной, максимальной и средней относительных ошибок прогноза. Однако данные модели продемонстрировали существенное отличие в полученном проценте правильных направлений прогноза. Несмотря на то, что подобное отличие в рамках зрительного анализа выглядит незначительным, оно приобретает важный экономический смысл при потенциальном практическом использовании представленных моделей. В качестве примера области подобного использования можно привести рынок бинарных опционов, торговля на котором представляет собой процесс выставления участниками ставок на последующий рост или снижение цены внутри определенного диапазона значений или времени. В случае, если прогноз участника подтверждается, он получает доход в размере определенного процента от ставки, составляющей для большинства брокеров, как правило, 90%. В противном случае, участник получает убыток, составляющий полный размер ставки. Соответственно, математическое ожидание такого рода игры при условии единичной ставки может быть описано с помощью

Таблица 2: Результаты прогнозных способностей моделей (6), (7)–(8) и (9)–(11)

Валютная пара	Показатель	Модель (6)	Модель (7)–(8)	Модель (9)–(11)
USDRUB	Мин. относительная ошибка, %	0,00	0,00	0,00
	Макс. относительная ошибка, %	1,37	1,42	1,85
	Сред. относительная ошибка, %	0,11	0,11	0,15
	Кол-во правильных прогнозов, %	50,73	54,19	55,21
EURUSD	Мин. относительная ошибка, %	0,00	0,00	0,00
	Макс. относительная ошибка, %	1,62	1,63	1,48
	Сред. относительная ошибка, %	0,06	0,06	0,08
	Кол-во правильных прогнозов, %	51,07	53,61	54,06
USDCHF	Мин. относительная ошибка, %	0,00	0,00	0,00
	Макс. относительная ошибка, %	0,97	0,097	1,03
	Сред. относительная ошибка, %	0,06	0,07	0,08
	Кол-во правильных прогнозов, %	51,96	54,43	54,86

следующей формулы:

$$E = 0,9p + (-1)(1 - p), \quad (12)$$

где p представляет собой вероятность правильного прогноза.

Таким образом, подобное математическое ожидание является положительным при условии, когда у участника есть возможность прогнозировать будущее направление движения рынка с вероятностью не ниже пороговой, равной 52,63%. Представленные в таблице (2) результаты свидетельствуют о том, что проведенная модификация исходной модели (6), путем дополнения компонентами локального уровня и локального уровня с дрейфом, позволила соответствующим моделям (7)–(8) и (9)–(11) продемонстрировать на данных тестового множества для всех рассмотренных валютных пар вероятности правильных направлений прогноза, превышающие 52,63%. Следовательно, можно сделать вывод, что построенные с применением компонент локального уровня и локального уровня с дрейфом экономико-математические модели обладают значительным потенциалом экономического использования с точки зрения совершения реальных торговых операций на финансовых рынках, в частности на рынке бинарных опционов.

Заключение

В данной работе были продемонстрированы значительные возможности использования моделей типа локального уровня и локального уровня с дрейфом, как потенциально общей методики построения экономико-математических моделей в рамках обобщения статистического и динамического подходов к прогнозированию движения цен на финансовом рынке. В соответствии с поставленной задачей были построены две модели, локального уровня и локального уровня с дрейфом, основанные на концепции технического анализа с точки зрения моделирования особенностей движения цены, в зависимости от ее отклонения от среднего (справедливого) значения, что в свою очередь представляет собой рыночный эффект воздействия кластера участников фундаменталистов. Все представленные модели,

использующие компоненты локального уровня и локального уровня с дрифтом, продемонстрировали высокие прогнозные способности на данных трех рассмотренных валютных пар USDRUB, EURUSD и USDCHF с точки зрения процента правильных направлений прогноза, представляющего собой важный показатель, иллюстрирующий возможности реального экономического применения моделей, в частности для совершения торговых операций на рынке бинарных опционов.

Список литературы

- [1] Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Прикладная статистика и основы эконометрики. Учебник для вузов. М.: ЮНИТИ, 1998. 1030 с.
- [2] Kijima M. Stochastic Processes with Applications to Finance. Second Edition. London: Chapman and Hall/CRC, 2013.
- [3] Schannep J. Dow theory for the 21th century: Technical indicators for improving your investment results. New York: John Wiley and Sons, 2008.
- [4] Murphy J.J. Technical Analysis of the Financial Markets: A Comprehensive Guide to Trading Methods and Applications. New Jersey: Prentice Hall Press, 1999.
- [5] Boswijk P., Hommes C., Manzan S. Behavioral heterogeneity in stock prices // Journal of Economic Dynamics and Control. 2007. Vol. 31. Pp. 1938–1970.
- [6] Lux T., Marchesi M. Scaling and criticality in a stochastic multi-agent model of a financial market // Nature. 1999. Vol. 397. Pp. 498–500.
- [7] Романовский М.Ю. Введение в эконофизику. Статистические и динамические модели. М.: ИКИ, 2007. 280 с.
- [8] Цыпин А.П., Сорокин А.С. Статистические пакеты программ в социально-экономических исследованиях // Азимут научных исследований: экономика и управление. 2016. Т. 5, № 4. С. 379–384.
- [9] Young A.R. Expert Advisor Programming: Creating Automated Trading Systems in MQL for MetaTrader 4. Nashville, TN: Edgehill Publishing, 2010.
- [10] Harvey A.C. Analysis and generalisation of a multivariate exponential smoothing model // Management Science. 1986. Vol. 32. Pp. 374–380.
- [11] West M., Harrison P.J. Bayesian Forecasting and Dynamic Models. 2nd edition. New York: Springer-Verlag, 1997.
- [12] Kalman R.E. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems // Journal of Basic Engineering. Transactions of the American Society of Mechanical Engineers. 1960. Vol. 82, № 1. Pp. 35–45.
- [13] Commandeur J.J.F., Koopman S.J., Ooms M. Statistical Software for State Space Methods // Journal of Statistical Software. 2011. Vol. 41, № 1. Pp. 1–18.

- [14] Мусин А.Р. Сравнение качества прогнозных моделей валютного рынка с применением калмановской фильтрации и традиционных моделей временных рядов // Интернет-журнал Науковедение. 2017. № 3. С. 1–11.

Образец цитирования

Мусин А.Р., Сорокин А.С. Возможности построения экономико-математических моделей динамики финансового рынка с использованием компонент локального уровня // Вестник ТвГУ. Серия: Прикладная математика. 2018. № 4. С. 76–86. <https://doi.org/10.26456/vtpmk519>

Сведения об авторах

1. Мусин Артур Рустамович

аспирант кафедры бизнес-статистики Московского финансово-промышленного университета «Синергия».

Россия, 125190, г. Москва, Ленинградский проспект, д. 80.

E-mail: amusin@nes.ru

2. Сорокин Александр Сергеевич

доцент кафедры бизнес-статистики Московского финансово-промышленного университета «Синергия»; доцент кафедры математических методов в экономике РЭУ им. Г.В. Плеханова.

Россия, 125190, г. Москва, Ленинградский проспект, д. 80.

E-mail: alsorokin@mail.ru

POSSIBILITIES OF CONSTRUCTION ECONOMIC-MATHEMATICAL MODELS OF FINANCIAL MARKET DYNAMICS USING LOCAL LEVEL COMPONENTS

Musin Artur Rustamovich

Post-graduate student of Business Statistics department,
Moscow University for Industry and Finance "Synergy"
Russia, 125190, Moscow, 80 Leningradsky av., Synergy University.
E-mail: amusin@nes.ru

Sorokin Alexander Sergeevich

Associate professor at Business Statistics department,
Moscow University for Industry and Finance "Synergy"
Associate professor at Mathematical Methods in Economics department,
Plekhanov Russian University of Economics
Russia, 125190, Moscow, 80 Leningradsky av., Synergy University.
E-mail: alsorokin@mail.ru

Received 01.08.2018, revised 27.11.2018.

This paper is devoted to presentation of application local level and local level with drift models in order to solve a problem of developing common methods and techniques for creating economic-mathematical models for forecasting dynamics of financial market time series. In paper, basing on initially introduced forecasting model that takes into account phenomenon of price deviation from its equilibrium value, as one of the basic technical analysis tool, there were proposed two additional economic-mathematical models, containing local level and local level with drift components. Complicated by the corresponding components, additional models were evaluated by classical Kalman filtering, using data of three exchange rate markets, US dollar against ruble (USDRUB), euro (EURUSD) and Swiss franc (USDCHF) for the year of 2017, and demonstrated higher forecasting capabilities, judging by percentage of correct forecast directions, in comparison with the initial model, which in turn confirms potential possibility of their real economic use, in particular, on binary options market, presented in paper as example.

Keywords: financial market, forecasting, economic-mathematical models, local-level and local level with drift models.

Citation

Musin A.R., Sorokin A.S., "Possibilities of construction economic-mathematical models of financial market dynamics using local level components", *Vestnik TverGU. Seriya: Prikladnaya Matematika* [Herald of Tver State University. Series: Applied Mathematics], 2018, no. 4, 76–86. (in Russian) <https://doi.org/10.26456/vtprm519>

References

- [1] Ajvazyan S.A., Mkhitaryan V.S., *Prikladnaya Statistika i Osnovy Ekonometriki [Applied Statistics and Econometrics Basics]*, Uchebnik dlya vuzov, Yunity Publ., Moscow, 1998 (in Russian), 1030 pp.
- [2] Kijima M., *Stochastic Processes with Applications to Finance*, Second Edition, Chapman and Hall/CRC, London, 2013.
- [3] Schannep J., *Dow theory for the 21th century: Technical indicators for improving your investment results*, John Wiley and Sons, New York, 2008.
- [4] Murphy J.J., *Technical Analysis of the Financial Markets: A Comprehensive Guide to Trading Methods and Applications*, Prentice Hall Press, New Jersey, 1999.
- [5] Boswijk P., Hommes C., Manzan S., “Behavioral heterogeneity in stock prices”, *Journal of Economic Dynamics and Control*, **31** (2007), 1938–1970.
- [6] Lux T., Marchesi M., “Scaling and criticality in a stochastic multi-agent model of a financial market”, *Nature*, **397** (1999), 498–500.
- [7] Romanovskij M.Yu., *Vvedenie v Ekonofiziku. Statisticheskie i Dinamicheskie Modeli [Introduction to Econophysics. Statistical and Dynamic Models]*, IKI Publ., Moscow, 2007 (in Russian), 280 pp.
- [8] Tsy-pin A.P., Sorokin A.S., “Statistical software packages in socio-economic research”, *Azimut Nauchnykh Issledovaniy: Ekonomika i Upravlenie [The Azimuth of Scientific Research: Economics and Management]*, **5:4** (2016), 379–384 (in Russian).
- [9] Young A.R., *Expert Advisor Programming: Creating Automated Trading Systems in MQL for MetaTrader 4*, Edgehill Publishing, Nashville, TN, 2010.
- [10] Harvey A.C., “Analysis and generalisation of a multivariate exponential smoothing model”, *Management Science*, **32** (1986), 374–380.
- [11] West M., Harrison P.J., *Bayesian Forecasting and Dynamic Models*, 2nd edition, Springer-Verlag, New York, 1997.
- [12] Kalman R.E., “A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems”, *Journal of Basic Engineering. Transactions of the American Society of Mechanical Engineers*, **82:1** (1960), 35–45.
- [13] Commandeur J.J.F., Koopman S.J., Ooms M., “Statistical Software for State Space Methods”, *Journal of Statistical Software*, **41:1** (2011), 1–18.
- [14] Musin A.R., “Comparison of the quality of forecast models of the foreign exchange market using Kalman filtering and traditional time series models”, *Internet-zhurnal Naukovedenie [Online Journal "Naukovedeniye"]*, 2017, № 3, 1–11 (in Russian).