

УДК 336.76:51(075.8)  
JEL C32, E37

**Д. А. Герцекович**

*Международный институт экономики и лингвистики  
Иркутского государственного университета  
ул. Улан-Баторская, 6, Иркутск, 664080, Россия*

*davidgerc@yahoo.com*

## **КОРРЕКТИРОВКА ПРОГНОЗОВ КУРСОВ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ ВАЛЮТНЫХ ПАР НА ОСНОВЕ СИСТЕМ БАЛАНСОВЫХ СООТНОШЕНИЙ**

Задача прогноза валютных курсов рассматривается, во-первых, в классическом виде как задача прогноза на основе «автономных» уравнений авторегрессии для каждой валютной пары, во-вторых, как результат корректировки прогнозов системы уравнений авторегрессии на базе ограничений, следующих из систем балансовых соотношений. В качестве критерия качества прогнозов, синтезированных с помощью эмпирических моделей, используется сумма квадратов невязок прогнозов вычисленных для синтетических валютных пар. Апробация подхода показала, что синтезированные модели отвечают общепринятым требованиям, дают приемлемую точность, устойчивы к исходной информации и не имеют серий невязок одного знака. Однако экстремальные ошибки прогноза свидетельствуют о том, что практическое использование предлагаемого подхода обуславливает его дальнейшее совершенствование.

*Ключевые слова:* валютный рынок, балансовые соотношения, прогноз валютного курса, модель авторегрессии, прогноз курсов взаимосвязанных валютных пар, корректировка прогнозов.

Эффективным средством анализа состояния валютного рынка является прогноз курсовой динамики валютных пар, различных индексов, отражающих состояние рынка валют в целом, индексов континентального и регионального масштаба, финансовых и промышленных индексов и многих других. Только адекватный количественный аппарат позволяет повысить результативность принимаемых инвестиционных решений. Именно поэтому применяемые методы выработки прогнозов требуют непрерывного совершенствования. Задаче анализа возможностей существующих подходов с помощью моделей регрессии и повышения качества синтезированных прогнозов на основе моделей с лаговыми переменными на базе балансовых соотношений и посвящается данная статья.

*Традиционная постановка задачи прогноза курса валют.* Сформулируем в общепринятом виде задачу прогноза динамики валютных курсов с помощью эмпирических моделей в общем виде. Пусть в равноотстоящие моменты времени (бары)  $k = 1, 2, \dots, n$ , где  $n$  – число наблюдений в выборке, заданы значения курса какой-либо валютной пары. Ставится задача на основе исторических данных, в неявном виде содержащих информацию об изучаемой системе, определить значение курса этой пары в следующем баре  $k = n + 1$ . В качестве примера рассмотрим задачу прогноза курса EUR/USD, в котором в качестве входных переменных используются только предыдущие значения курса этой валютной пары.

С этой целью с помощью надстройки «Анализ данных» в MS EXCEL был проведен корреляционный и регрессионный анализ данных о динамике курса валютной пары EUR/USD

*Герцекович Д. А.* Корректировка прогнозов курсов взаимосвязанных валютных пар на основе систем балансовых соотношений // Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Серия: Социально-экономические науки. 2015. Т. 15, вып. 1. С. 60–66.

с 29.05.2013 по 14.06.2014. Бар 1 день<sup>1</sup>. Примем следующие обозначения:  $Y$  – курс EUR/USD,  $k$  – номер временного интервала (номер бара). Таким образом, корреляционный анализ проводился для зависимой переменной  $Y^{(k)}$  и пяти лаговых переменных:  $Y^{(k-1)}$ ,  $Y^{(k-2)}$ ,  $Y^{(k-3)}$ ,  $Y^{(k-4)}$ , и  $Y^{(k-5)}$  (табл. 1). В шестой строке табл. 1 представлена корреляционная функция исследуемого ряда значений курсов валютной пары EUR/USD. Это убывающая функция и называется она автокорреляционной. Полученные результаты вполне согласуются с нашими представлениями об изучаемой системе. Действительно, память системы со временем убывает, что и нашло свое отражение в полученных результатах.

Таблица 1

## Результаты полного корреляционного анализа

Номер	Показатели	$Y^{(k-5)}$	$Y^{(k-4)}$	$Y^{(k-3)}$	$Y^{(k-2)}$	$Y^{(k-1)}$	$Y^{(k)}$	Прогноз $Y^{(k)}$
1	$Y^{(k-5)}$	1						
2	$Y^{(k-4)}$	0,99	1					
3	$Y^{(k-3)}$	0,98	0,99	1				
4	$Y^{(k-2)}$	0,97	0,98	0,99	1			
5	$Y^{(k-1)}$	0,96	0,97	0,98	0,99	1		
6	$Y^{(k)}$	0,94	0,96	0,97	0,98	0,99	1	
7	Прогноз $Y^{(k)}$	0,95	0,97	0,98	0,99	1,00	0,99	1

Прогностическое уравнение регрессии строилось на основе уравнения авторегрессии пятого порядка. Выбор наилучшего уравнения осуществлялся с помощью «ручного» метода исключения [1], суть которого состоит в следующем. С помощью надстройки «Пакет анализа», окно «Регрессия» рассчитываем уравнение, содержащее полный набор исходных показателей. Далее, вычисляем абсолютные величины отношений стандартных ошибок коэффициентов к их коэффициентам. Если все полученные отношения меньше единицы, то синтезированное уравнение принимаем в качестве окончательного. В противном случае исключаем из рассмотрения тот показатель, для которого это отношение максимально. Далее строим новое, более простое уравнение, и так до тех пор, пока не найдется хотя бы одно отношение, стандартная ошибка которого больше модуля соответствующего коэффициента. Полученное таким образом уравнение отвечает в некотором смысле понятию модели оптимальной сложности [1].

Окончательное уравнение регрессии прогноза курса валютной пары EUR/USD (все стандартные ошибки меньше модулей соответствующих коэффициентов) на один бар вперед имеет следующий вид:

$$Y^{(k)} = -0,10155 * Y^{(k-4)} + 0,16209 * Y^{(k-3)} - 0,15373 * Y^{(k-2)} + 1,09316 * Y^{(k-1)}.$$

Уравнение авторегрессии четвертого порядка, построенное по 284 наблюдениям, представляет собой метод прогноза курса валютной пары EUR/USD с заблаговременностью 1 день. Иначе говоря, опираясь на исторические данные за период времени, включающий ежедневные котировки курса без пропусков в данных за четыре дня, мы можем на основе полученного соотношения сделать прогноз курса EUR/USD на «завтра».

Множественный коэффициент детерминации  $R^2$ , равный 0,98, свидетельствует о том, что полученное уравнение вполне приемлемо для практического применения, если опираться на общепринятые критерии пригодности модели. Однако общеизвестно, что в каждой предметной области практика предъявляет свои требования. В рассматриваемой задаче анализ остатков показал, что, несмотря на отсутствие серий невязок одного знака, максимальная ошибка прогноза курса составляет 0,0043, т. е. 43 пункта, тогда как минимальная ошибка прогноза курса – 0,0039, или 39 пунктов. Рис. 1, по осям которого соответственно располагаются курс и прогноз курса EUR/USD, позволяет получить графическое представление о качестве вы-

<sup>1</sup> Инвестиционный холдинг Финам – <http://www.finam.ru> (дата обращения 17.06.2014).

численных по модели значений курса валютной пары EUR/USD. В большинстве случаев прогнозы практически равны соответствующим реальным значениям курса, однако в некоторых случаях имеют место значительные отклонения.

Количественную оценку связи между заданными значениями курса ( $Y^{(k)}$ ) и вычисленными с помощью модели ( $Y_{\text{прог}}^{(k)}$ ) представляет следующее уравнение:

$$Y_{\text{прог}}^{(k)} = 0,9870 * Y^{(k)} + 0,0180.$$

Очевидно, что в идеале, когда прогнозы в точности совпадают с заданными значениями, угол наклона будет равен единице, а свободный член – нулю. В рассматриваемом примере угол наклона достаточно близок к единице, но при этом свободный член указывает на наличие значительного смещения.

Апробация описанного подхода на «свежих» исторических данных курсовой динамики EUR/USD (которые не использовались для синтеза модели) показала, что значения множественного коэффициента детерминации  $R^2$  варьируют от 0,93 до 0,95, т. е. незначительно отличаются от приведенных выше критериев качества.

Обратимся вновь к исходной задаче. К начальному списку входных переменных были добавлены значения динамики курса валютной пары USD/CHF с лагом от единицы до пяти, т. е. апробировалась возможность синтеза модели прогноза курса EUR/USD, когда в качестве входных переменных были приняты предыдущие значения курсов зеркальной пары {EUR/USD, USD/CHF} [2]. В результате было синтезировано следующее уравнение:

$$Y^{(k)} = 0,2542 - 0,54222 * X^{(k-4)} + 0,14435 * X^{(k-2)} + 0,29625 * X^{(k-1)} - 0,44467 * Y^{(k-4)} + 1,32579 * Y^{(k-1)}.$$

Здесь  $X$  – курс пары USD/CHF.

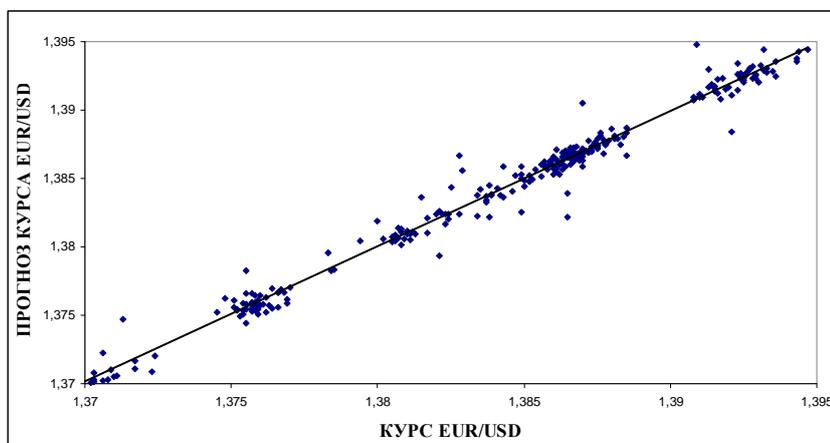


Рис. 1. Визуализация сопоставимости прогнозов и реальных значений котировок EUR/USD

Особенность методики построения последнего уравнения, кроме расширения списка входных переменных, состоит еще и в том, что при его построении применялись более строгие требования к его качеству, а именно: исходная таблица исторических данных изначально была поделена на две практически равные части. Приведенная модель была построена по первой части. Далее, полученное соотношение было верифицировано по второй части. Результаты испытания показали, что синтезированная модель устойчива по отношению к исходной информации: как на обучении (первая часть таблицы), так и на независимой проверке (вторая часть таблицы) множественный коэффициент детерминации  $R^2$  принимает значения 0,95.

На рис. 2 показаны результаты оценки сопоставимости результатов прогнозов и исторических данных. При построении регрессионных прогностических моделей для синтетических валютных пар выявлено:

- для валютной пары EUR/AUD синтезированное уравнение устойчиво по отношению к исходной информации, поскольку, как на обучающей части исторических данных, так и на проверочной части, уравнение генерирует прогнозы вполне приемлемого качества: множественный коэффициент детерминации  $R^2$  принимает значения 0,84–0,86 соответственно;
- для пары GBP/CHF также были получены очень высокие по точности результаты – множественный коэффициент детерминации  $R^2$  на перекрестной проверке принимает значения 0,81–0,86 соответственно. Это свидетельствует о том, что синтезированная модель устойчива по отношению к исходной информации.

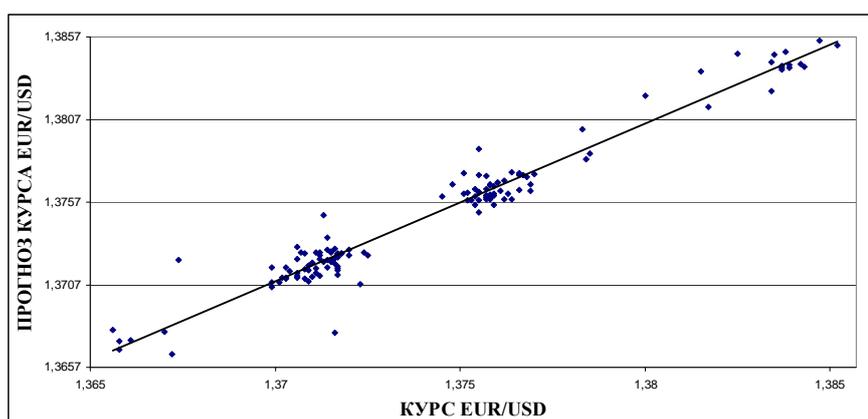


Рис. 2. Визуализация сопоставимости прогнозов и реальных значений котировок EUR/USD на независимой проверке

В целом, несмотря на то что модели прогноза курсов синтетических валютных пар несколько уступают по качеству прогноза парам с участием американского доллара, значение критерия эффективности [3] для всех моделей меньше 0,8, что соответствует требованиям, принятым в практике прогнозов.

Перейдем к изложению основных этапов прогноза курсов валютных пар и их последующей корректировки. С этой целью обратимся в первую очередь к графическому отображению взаимосвязей между основными валютами.

Двумерная (плоскостная) модель визуализации курсовой динамики, предложенная ранее [2], не вполне адекватно отражает положение вещей, так как в ее основу изначально заложено предположение равенства валют: EUR, USD, GBP, CHF и JPY, тогда как 80 % конверсионных операций от их общего числа проходит с участием доллара США. Это означает, что доллар США играет главенствующую роль при проведении операций обмена. На основании вышесказанного более адекватным представляется отображение взаимосвязей между основными валютами в виде пирамиды (рис. 3); в вершине пирамиды располагается USD, а остальные валюты помещаются в основании пирамиды. Тогда все ребра, связывающие вершину пирамиды с ее основанием, представляют собой валютные пары с участием доллара США: EUR/USD, GBP/USD, USD/CHF и USD/CHF. Все без исключения ребра, расположенные в ее основании, представляют собой синтетические валютные пары GBP/EUR, EUR/JPY, CHF/JPY, GBP/CHF, GBP/JPY и EUR/CHF. Или, другими словами, все валютные пары, которые отображают боковые ребра пирамиды, реально торгуются на рынке, а пары, лежащие в ее основании, рассчитываются.

Если при построении пирамиды воспользоваться предварительно пронормированными данными курсовой динамики, то в начальный момент времени длины всех ее ребер будут равны единице [2], т. е. пирамида будет правильной. В дальнейшем изменения курсов валютных пар приведут к изменению ее геометрии.

Здесь в качестве нормированных значений принимаются доли прироста курса рассматриваемой валютной пары (за единицу принимается курс в первом баре ( $Y^{(1)}$ ):

$$Y_{\text{норм}}^{(i)} = (Y^{(i)} - Y^{(1)})/Y^{(1)}.$$

Так, если воспользоваться данными финансово-аналитической компании «Финам» и данными о курсовой динамике зеркальных пар: {EUR/USD, USD/CHF} и {EUR/GBP, GBP/CHF},

то на основе балансовых соотношений [2; 3]:  $(EUR/CHF (1) = EUR/USD \times USD/CHF$  и  $EUR/CHF (2) = EUR/GBP \times GBP/CHF)$  можно рассчитать два варианта соответствующего курса EUR/CHF («длины» одной из диагоналей четырехугольника, лежащего в основании пирамиды) (см. рис. 3). Как показали результаты, разность между вычисленными по этим вариантам значениями курса EUR/CHF может достигать семи пунктов. Таким образом, возникает необходимость разработки некоторой методики, позволяющей унифицировать расчеты курсов синтетических валютных пар.

*Корректировка прогноз валютных курсов для связанных валютных пар на основе балансовых соотношений.* Далее, перейдем к рассмотрению непосредственно метода корректировки прогнозов курсов валют. Предположим, что рассматривается пять выше перечисленных валют (рис. 3). Как уже упоминалось, ребра пирамиды представляют собой валютные пары.

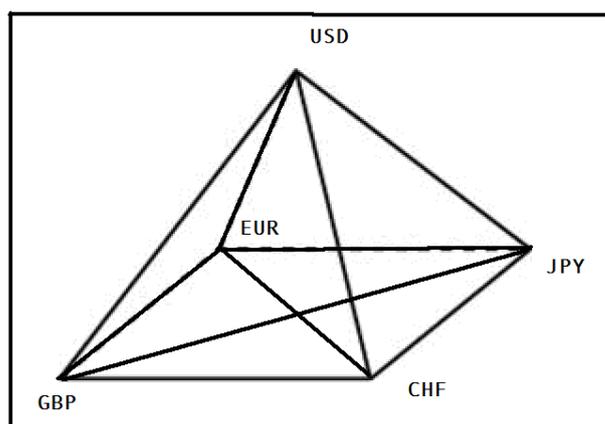


Рис. 3. Трехмерная визуализация курсовой динамики

Задавшись целью выработать прогноз для каждой валютной пары, необходимо выполнить следующие шаги.

1. По имеющемуся набору исторических данных построить, как описано выше, авторегрессионные уравнения, позволяющие вырабатывать прогноз на один временной шаг (один бар). Синтезировать уравнения только для валютных пар, содержащих доллар США: EUR/USD, GBP/USD, USD/CHF и USD/JPY. Выполнив этот шаг, мы, вообще говоря, получаем ожидаемые длины боковых ребер рассматриваемой пирамиды.

2. Есть все основания полагать, что выполненные таким образом прогнозы не гарантируют того, что все четыре рассчитанных точки будут лежать в одной плоскости. Чтобы проверить тот факт, что полученные прогнозы не работают «в унисон», воспользуемся системой балансовых соотношений [3]:

$$\begin{aligned} EUR/GBP &= (EUR/USD):(GBP/USD); & EUR/GBP &= (EUR/JPY):(GBP/JPY); \\ EUR/GBP &= (EUR/CHF):(GBP/CHF); & EUR/USD &= (EUR/CHF):(USD/CHF); \\ EUR/USD &= (EUR/JPY):(USD/JPY); & USD/JPY &= (GBP/JPY):(GBP/USD); \\ USD/JPY &= (USD/CHF):(CHF/JPY); & CHF/JPY &= (EUR/JPY):(EUR/CHF); \\ CHF/JPY &= (GBP/JPY):(GBP/CHF); & GBP/CHF &= (GBP/USD):(USD/CHF). \end{aligned}$$

На основе этих соотношений рассчитаем «длины» ребер, лежащих в основании пирамиды. Отметим, что каждое ребро основания может быть рассчитано трижды. Так, ребро EUR/CHF может быть рассчитано из треугольников: USD – EUR – CHF, EUR – GBP – CHF и EUR – JPY – CHF. И если в первом треугольнике курс EUR/CHF рассчитывается через две валютные пары, содержащие доллар США, то второе и третье соотношения позволяют рассчитать курс синтетической пары EUR/CHF исключительно через синтетические валютные пары.

3. По всем без исключения валютным парам из основания пирамиды, включая пары, образующие диагонали основания пирамиды, найдем сумму квадратов разностей между различными вариантами прогнозов их курса (напомним, что вариантов прогноза будет три для

каждой пары). Полученную неотрицательную величину назовем критерием рассогласованности выработанных прогнозов. Далее, будем таким образом вносить малые возмущения в прогнозы, полученные для пар содержащих доллар США, чтобы выше сформулированный критерий достиг своего минимально возможного значения. Таким образом, полученные на предварительном этапе прогнозы, являются начальным приближением при поиске минимума критерия рассогласованности прогнозов.

4. Для поиска минимума этого функционала воспользуемся известным методом покоординатного спуска [4]. Здесь в качестве переменных метода покоординатного спуска выступают прогнозы курсов валютных пар, содержащих доллар США. А поиск минимума критерия по каждой из переменных осуществляется с помощью модифицированного метода обратного переменного шага [5]: из начальной точки вводится заданное возмущение. Если значение критерия уменьшилось, то шаг считается успешным, новое значение запоминается, величина возмущения увеличивается втрое. Поиск продолжается в том же направлении из вновь полученной точки. Если же шаг оказался неудачным, т. е. значение критерия увеличилось, то величина возмущения уменьшается вдвое и направление меняется на противоположное. Если вновь полученное значение критерия отличается от предыдущего на малую, наперед заданную величину, то поиск минимума функционала в этом направлении прекращается и осуществляется переход к следующему направлению. Поиск минимума критерия методом покоординатного спуска продолжается до тех пор, пока не будет достигнута заданная точность поиска.

5. Предлагаемый метод корректировки прогнозов представляет собой по своей сути решение систем авторегрессионных моделей, в котором рассчитанные прогнозы корректируются на основе балансовых соотношений. Отклонения прогнозов для синтетических валютных пар выступают в качестве критерия качества сбалансированности полученного решения системы.

6. Предлагаемый метод корректировки прогнозов для связанных валютных пар в своей постановочной части представляет собой принципиально другой метод решения задачи решения систем одновременных уравнений [6; 7], в котором поставленная задача рассматривается с сугубо прагматической точки зрения: качества вырабатываемых прогнозов. Метод базируется на принципе «практика – критерий истины». Именно поэтому в статье не обсуждаются проблемы единственности, смещения и несостоятельности оценок коэффициентов и идентифицируемости модели. Необходимость разработки нового подхода к проблеме корректировки прогнозов связанных валютных пар обусловлена спецификой решаемой задачи. Изучаемые валютные пары априори неравноправны, так как пространственный разброс курсов для валютных пар с участием американского доллара значительно меньше, чем для синтетических валютных пар. Тогда применение традиционного подхода [6; 7] потребовало бы разработки новой (субъективной) системы весов для каждой валютной пары. Принципиальным, по мнению автора, является тот факт, что в предложенном методе корректируются не модели и не их коэффициенты, а прогнозы. Таким образом, синтезированные с помощью авторегрессионных моделей прогнозы рассматриваются как начальные приближения, которые затем уточняются в соответствии с изложенным выше алгоритмом.

Апробация возможностей уравнений авторегрессии в задаче прогноза динамики курсов валютных пар показала их приемлемую эффективность, более высокую устойчивость к исходной информации и отсутствие серий невязок одного знака. Сформулированный подход корректировки прогнозов позволяет синтезировать более обоснованную, более взаимосвязанную и менее противоречивую курсовую динамику для связанных валютных пар. Однако экстремальные ошибки прогноза свидетельствуют о том, что практическое использование предлагаемого подхода обуславливает его дальнейшее совершенствование.

### Список литературы

1. Герцегович Д. А. Количественные методы в коммерческой деятельности. Компьютерный практикум: Учеб. пособие. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2010. 347 с.
3. Герцегович Д. А. Алгоритмы анализа дисбаланса валютных курсов зеркальных пар // Вестн. Иркут. гос. техн. ун-та. 2010. № 2 (40). С. 45–50.

4. Герцекович Д. А. Финансовые рынки: система игры на противофазе. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2012. 156 с.
5. Васильев Ф. П. Численные методы решения экстремальных задач: Учеб. пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. 549 с.
6. Герцекович Д. А. Процедура синтеза полуэмпирических моделей по принципу внешнего дополнения // Информ. листок № 10-82. Иркутск: ЦНТИ, 1982. С. 1–4.
7. Доугерти К. Введение в эконометрику. М.: ИНФРА-М, 1997. 402 с.
8. Магнус Я. Р. Эконометрика. Начальный курс: Учебник / П. К. Катышев, А. А. Пересецкий. 7-е изд., испр. М.: Дело, 2005. 504 с.

Материал поступил в редколлегию 20.02.2015

### D. A. Gertsekovich

*International Institute of Economics and Linguistics Irkutsk State University  
6 Ulan-Batorskaya Str., Irkutsk, 664080, Russian Federation*

*davidgerc@yahoo.com*

## CORRECTION OF FORECASTS OF INTERRELATED CURRENCY PAIRS IN TERMS OF SYSTEMS OF BALANCE RATIOS

In this paper the problem of exchange rates forecast is logically considered a) traditionally as a task of forecast on the base of «stand-alone» equations of autoregression for each currency pair and b) as a result of forecast correction of autoregression equations system on the base of boundary conditions of balance ratios systems.

As a criterion for quality of forecast constructed with empirical models we take the sum of deficiency quadrates of forecasts estimated for deductive currency pairs. Practical approval confirmed that deductive models meet common requirements, provide accepted precision, show resistance to initial data and are free from series of deficiency of one index. However, extreme forecast errors tell that practical application of the approach offered needs further improvement.

*Keywords:* exchange market, balance ratios, exchange rate forecast, autoregression model, forecast of interrelated currency pairs rates, correction of forecasts.

### References

1. Gercekovitz D. A. Kolichestvenniye metodi v kommercheskoy deyatelnosti [Quantitative Methods in Business activities]. *Kompjuternii praktikum [Computer practical course]. Uchebnoye posobyе [Study guide]*. Irkutsk, Irkutsk University Press, 2010, 347 p. (in Russ.)
2. Gercekovitz D. A. Algoritmi analiza disbalansa valutnikh kursov zerkalnikh par [Analysis Algorithms of Currency Rates Misbalance of Back-to Back Pairs]. Irkutsk, Irkutsk State Technical University Reporter, 2010, no. 2 (40), p. 45–50. (in Russ.)
3. Gercekovitz D. A. Finansoviye rinki: sistema igri na protivofaze [Financial Markets: Reversed Phase Playing System]. Irkutsk, Irkutsk University Press, 2012, 156 p. (in Russ.)
4. Vasilyev F. P. Chislenniye metodi resheniya ekstremalnikh zadach [Numerical methods of Extreme Tasks Solutions]. *Uchebnoye posobyе dlya vuzov [Study guide for graduate students]*, 2<sup>nd</sup> edition, revised and corrected. Moscow: SCIENCE Press, Chief Editorial Board of Physical and Mathematical Literature, 1988, 549 p. (in Russ.)
5. Gercekovitz D. A. Protsedura sinteza poluempiricheskikh modelei po prinzipu vneshnego dopolneniya [Synthesis Procedure of Semi-Empirical Models on the Principle of External Addition]. *Bulletin*. Irkutsk, Scientific and Technical Information Center, 1982, no. 10–82, p. 1–4. (in Russ.)
6. Dougerti K. Vvedeniye v ekonometriku [Introduction to Econometrics]. Moscow: INFRA-M, 1997, 402 p. (in Russ.)
7. Magnus J. R., Katishev P. K., Peresetskiy A. A. Ekonometrika [Econometrics]. *Nachalniy kurs. Uchebnik [Introductory Course. Textbook]*, 7<sup>th</sup> ed., corrected. Moscow: Delo, 2005, 504 p. (in Russ.)