

А.А. МУСАЕВ  
**КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ХАОТИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ  
ВАЛЮТНОГО РЫНКА**

---

*Мусаев А.А. Корреляционный анализ хаотической динамики валютного рынка.*

**Аннотация.** Рассмотрен вопрос взаимосвязей между процессами изменения котировок валютных инструментов на электронном рынке Forex. Наличие относительно устойчивых корреляционных связей рассматривается как упорядочивающий фактор над массивами хаотических временных последовательностей, отражающих динамику валютных котировок. Результаты проведенных исследования можно рассматривать как эмпирическую платформу для регрессионных оценок текущей рыночной стоимости валютных инструментов и построения эффективных индикаторов состояния рынка.

**Ключевые слова:** хаотические процессы, корреляционный анализ, котировки валюты, валютный рынок, валютные инструменты, Forex.

*Musaev A.A. Correlation Analysis of the Currency Market Chaotic Dynamics.*

**Abstract.** The problem of interrelations between processes of currency quotations change in the electronic market Forex is considered. Existence of rather stable correlation relations is considered as an ordering factor over the chaotic temporary sequences reflecting dynamics of currency quotations. Results of carried out researches can be considered as a functional platform for regression estimates of currency current cost. So its can be used for effective market indicators creation.

**Keywords:** chaotic processes, correlation analysis, currency market, rate of exchange, currency tools, Forex.

---

**1. Введение.** Теоретический аспект данной работы относится к группе исследований, ориентированных на изучение природы возникновения порядка в хаотических средах. Прикладной вопрос исследований эволюции корреляционных связей в многомерном хаотическом процессе направлен на задачу непрямого прогноза состояния объекта в многомерной и многосвязной хаотической среде.

Главной особенностью динамических процессов, отражающих состояние валютного и других электронных рынков, является хаотическая природа изменения котировок рыночных активов [1-5]. Генезис рыночного хаоса связан с неустойчивостью процесса ценообразования. Стоимость активов формируется под воздействием огромного количества гетерогенных трудно предсказуемых факторов. При этом рыночная цена отражает не столько реальную стоимость актива, сколько субъективное, мгновенно изменяющееся представление рынка о его текущем состоянии.

В этих условиях попытки построения эффективной управляющей стратегии, основанной на прямом прогнозировании состояния рынка, обречены на провал [6-11]. Тем не менее, факт существования

небольшого процента успешных трейдеров позволяет сделать предположение о наличии некоторых упорядочивающих факторов, позволяющих косвенно судить о возможных изменениях состояния рынка. В качестве варианта поиска такого упорядочивающего начала в настоящей статье приведено исследование корреляционных связей между различными финансовыми инструментами валютного рынка. Заметим, что некоторые аспекты изучения межрыночных взаимосвязей были рассмотрены в [12].

Одним из приложений корреляционного анализа валютного рынка является выявление финансовых инструментов, которые, в силу наличия естественных корреляционных взаимных связей, могут использоваться в качестве предикторов в задаче регрессионного восстановления оценки текущей стоимости рыночного актива. Сопоставление полученной регрессионной оценки с его текущей стоимостью позволяет определить уровень недооценки или переоценки актива. Данный результат, в свою очередь, дает возможность построить рыночный индикатор осцилляторного типа и отвечающую ему управляющую стратегию.

Таким образом, проводимый в настоящей работе корреляционный анализ представляет собой некоторую эмпирическую платформу, позволяющую перейти от схемы построения управляющих стратегий на основе анализа одномерного хаотического процесса [6-11] к схеме, базирующейся на многомерном квазихаотическом процессе. При этом снижение степени хаотичности достигается за счет учета относительно стабильных статистических связей между валютными инструментами.

**2. Математические модели динамики котировок.** Каждый из наблюдаемых динамических процессов изменения котировок валютных активов может описываться различными математическими моделями. Обзор подходов к задаче моделирования рыночных активов приведен, например, в [4, 13, 14]. При этом традиционные оценки качества модели, основанные на критериях подобия, оказываются малоэффективными. Важна не степень подобия между моделью и наблюдаемым процессом, а степень полезности модели для решения стоящей перед исследователем или разработчиком задачи [3]. В частности, качество модели, используемой в системе поддержки управляющих решений, должно оцениваться на основе терминального критерия эффективности – достигаемой прибыли при заданном уровне риска.

Для исследования корреляционных связей наиболее простой и относительно корректной моделью наблюдаемых процессов является двухкомпонентное аддитивное представление вида:

$$x_k = y_k + v_k, \quad k = 1, \dots, N.$$

Здесь под  $y_k$ ,  $k = 1, \dots, N$  понимается системная составляющая, используемая для определения тренда, прогноза или непосредственно в процессе выработки решений. Компонента  $y_k$ ,  $k = 1, \dots, N$  формируется путем динамического сглаживания исходного процесса и представляет собой колебательный непериодический (т.е. хаотический) процесс. Случайная составляющая  $v_k$ ,  $k = 1, \dots, N$ , как правило, является центрированной относительно  $y_k$ . В силу гетероскедастичности потока наблюдений эта компонента образует нестационарный процесс.

Заметим, что предложенная модель содержит существенную неопределенность, связанную с самим понятием системной компоненты. По существу, разделение наблюдаемого ряда на системный процесс и помеховую составляющую является неоднозначным и требует дополнительного определения, связанного с такими субъективными факторами, как выбор коэффициента передачи сглаживающего фильтра, стратегии игры, критерия ее эффективности и т.п. Кроме того, на процесс идентификации системной составляющей определяющим образом влияют такие экзогенные факторы, как стратегические предпочтения участников торговых операций [3].

Для повышения объективности выбора математической модели может использоваться дополнительная информация, связанная с исследованием свойств наблюдаемых процессов. В качестве одного из таких формирующих дополнений могут быть использованы результаты многомерного корреляционного анализа изменения состояния группы валютных активов, представленные в настоящей статье.

**3. Визуальный анализ корреляций.** Для любых стохастических процессов оценка коэффициента корреляции зависит от размера окна наблюдения, на котором эта оценка осуществляется. В частности, для стационарных и случайных процессов точность оценки будет постоянно расти по мере увеличения размера выборки наблюдений.

Для модели стохастического хаоса, когда на исходный хаотический процесс накладывается статистическая шумовая компонента, аналитические исследования построить не удастся. Численные исследования также не всегда эффективны, тем не менее, они позволяют сделать некоторые общие заключения.

В качестве примера рассмотрим задачу традиционной оценки корреляционных связей между 16-ю наиболее часто используемыми на

практике валютными инструментами, представленными в таблице 1. В дальнейшем будем для их обозначения использовать номера валютных пар из этой таблицы.

Таблица 1. Валютные инструменты

|            |        |        |        |        |
|------------|--------|--------|--------|--------|
| №№         | 1      | 2      | 3      | 4      |
| Инструмент | EURUSD | EURJPY | EURGBP | EURCHF |
| №№         | 5      | 6      | 7      | 8      |
| Инструмент | EURCAD | USDCAD | USDCHF | USDJPY |
| №№         | 9      | 10     | 11     | 12     |
| Инструмент | GBPCHF | GBPJPY | GBPUSD | AUDJPY |
| №№         | 13     | 14     | 15     | 16     |
| Инструмент | AUDUSD | CHFJPY | NZDUSD | NZDJPY |

Для предварительного анализа оценим значения коэффициентов парных корреляций между представленными в табл. 1 инструментами.

Соответствующие коэффициенты находятся из известного соотношения  $r_{ij} = s_{ij} / \sqrt{s_{ii}s_{jj}}$ , где  $s_{ij}$ ,  $i, j = 1, \dots, m$  - коэффициенты ковариации, образующие в совокупности матрицу ковариаций  $S = X^T X / (n - 1) = \{s_{ij}, i, j = 1, \dots, m\}$  [15, 16].

Для оценки матрицы ковариаций используются исходные массивы наблюдений, образованные рядами котировок валютных пар и представленные в виде прямоугольной таблицы  $X$  размера  $\langle n : m \rangle$ , где  $n$  - число наблюдений (равное числу строк), а  $m$  - число исследуемых параметров (число столбцов).

В качестве предварительного примера рассмотрим оценку матрицы корреляций  $R = \{r_{ij}, i, j = 1, \dots, m\}$  для совокупности наблюдений за всеми 16 параметрами на временном интервале в 100 дней.

Тональное представление матриц корреляций между 16 валютными инструментами приведено на рис. 1. Наиболее светлые тона соответствуют сильной положительной корреляционной связи, а наиболее темные - отрицательной.

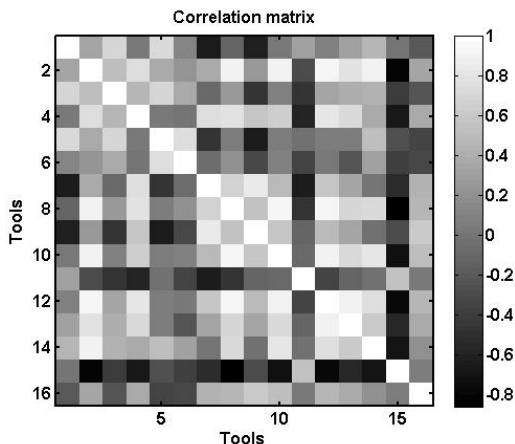


Рис. 1. Тональное представление матрицы корреляций между 16 валютными инструментами

В таблице 2 приведены перечни пар валютных инструментов с наиболее сильными положительными и отрицательными корреляционными связями. Для наглядной иллюстрации существующих корреляционных связей на рис. 2 представлены графики динамики коррелированной пары <8, 12>, и на рис. 3 - <2, 12>.

Таблица 2. Валютные пары с наиболее сильными корреляционными связями

| №№ | i  | j  | corr  |
|----|----|----|-------|
| 1  | 8  | 12 | 0.94  |
| 2  | 2  | 12 | 0.93  |
| 3  | 8  | 10 | 0.93  |
| 4  | 10 | 12 | 0.91  |
| 5  | 2  | 8  | 0.90  |
| 6  | 12 | 13 | 0.89  |
| 7  | 1  | 14 | 0.89  |
| 8  | 2  | 10 | 0.89  |
| 9  | 7  | 9  | 0.84  |
| 10 | 4  | 12 | 0.82  |
| 21 | 8  | 15 | -0.86 |
| 22 | 2  | 5  | -0.82 |
| 23 | 12 | 15 | -0.80 |
| 24 | 10 | 15 | -0.73 |

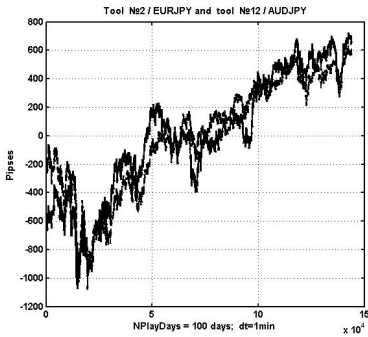


Рис. 2. Динамика изменения котировок валютных инструментов <8, 12>

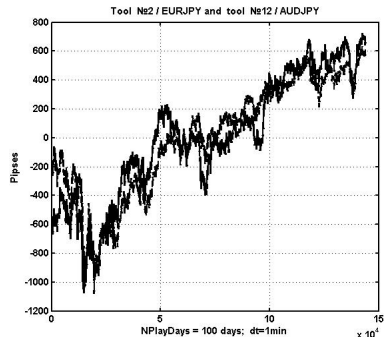
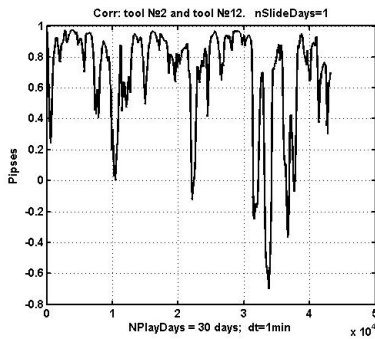
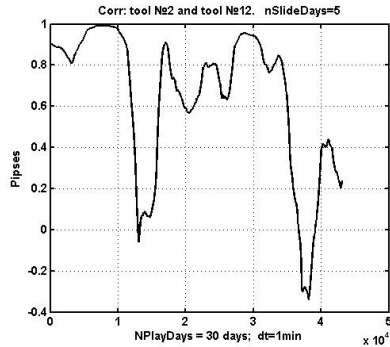


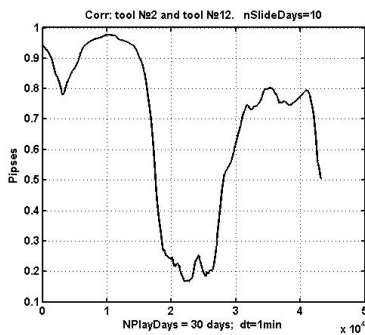
Рис. 3. Динамика изменения котировок валютных инструментов <2, 12>



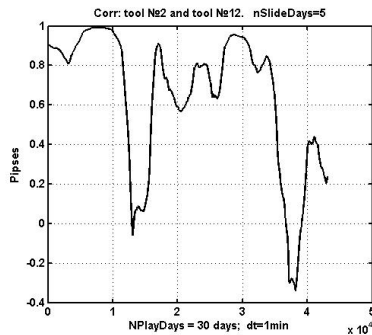
a)



b)



c)



d)

Рис. 4. Динамика коэффициента корреляции для различных значений скользящего окна наблюдения  $w$  в днях: а)  $w=1$ ; б)  $w=5$ ; в)  $w=10$ ; д)  $w=15$ .

Из приведенной таблицы и графиков можно сделать вывод о наличии инструментов с сильными корреляционными связями, что создает теоретическую платформу для разработки управляющих стратегий, основанных на использовании осцилляторных индикаторов [17, 18] или парного трейдинга [19, 20].

**4. От хаоса к порядку: выбор временного интервала.** Существенным параметром, влияющим на качество оценивания корреляционной связи, является интервал времени наблюдений, по которым осуществляется соответствующая оценка.

Рассмотрим динамику изменения оценки коэффициента корреляции  $r(t)$  для валютных инструментов  $\langle 2, 12 \rangle$  на интервале времени  $T = 30$  дней при использовании скользящих окон размера  $\tau$ . На рис. 4 представлены графики  $r(t)$  для  $\tau = 1, 5, 10, 15$  дней.

Из приведенных графиков видно, что на малых интервалах наблюдения взаимосвязь между изменениями котировок также носит хаотический характер.

С ростом окна наблюдения динамика коэффициента передачи заметно упорядочивается. Однако при использовании этого параметра в качестве индикатора управляющей стратегии следует иметь виду, что рост окна наблюдения  $\tau$  неизбежно приводит к задержке реакции процедуры выработки решения относительно текущего значения показателя взаимосвязи.

**5. Анализ корреляционных связей валютных инструментов.** Имея значения корреляционной матрицы на большом интервале наблюдения, нетрудно сформировать перечень регрессоров, которые можно использовать для оценки стоимости валютного инструмента по критерию максимального значения модуля коэффициента корреляции с другими валютными парами.

Ограничиваясь пятью наиболее коррелированными парами, соответствующие данные по степени связности валютных инструментов представлены в таблице 3. При этом оценка строилась на достаточно большом интервале наблюдения в 100 дней.

В первом столбце таблицы представлены номера валютных инструментов, приведенных в табл. 1. В столбцах 2-6 даны номера четырех валютных пар, наиболее коррелированных с валютным инструментом из первого столбца, а в 7-11 столбцах – соответствующие им значения парных корреляций.

Насколько приведенные корреляционные связи устойчивы? Для ответа на данный вопрос осуществим эту же оценку корреляционных связей на другом 100-дневном интервале времени, непересекающимся с предыдущим участком наблюдения. Соответствующие данные приведены в таблице 4.

Сравнение двух наборов данных демонстрирует их существенное расхождение по значениям оценок корреляционных связей и перечнем наиболее связанных валютных инструментов.

Таблица 3. Группы валютных пар, наиболее коррелированные с заданным валютным инструментом (1-100 дни)

| Вал. пара | Корр. валютные пары |    |    |    | Значения коэфф. корр. |       |       |       |
|-----------|---------------------|----|----|----|-----------------------|-------|-------|-------|
|           | 1                   | 2  | 3  | 4  | 1                     | 2     | 3     | 4     |
| 1         | 5                   | 3  | 7  | 9  | 0,74                  | 0,69  | -0,64 | -0,61 |
| 2         | 12                  | 8  | 14 | 10 | 0,93                  | 0,90  | 0,89  | 0,89  |
| 3         | 5                   | 1  | 2  | 11 | 0,70                  | 0,69  | 0,54  | -0,48 |
| 4         | 12                  | 8  | 2  | 7  | 0,82                  | 0,79  | 0,76  | 0,75  |
| 5         | 6                   | 1  | 3  | 9  | 0,76                  | 0,74  | 0,70  | -0,63 |
| 6         | 5                   | 15 | 3  | 11 | 0,76                  | -0,39 | 0,37  | -0,34 |
| 7         | 9                   | 4  | 8  | 11 | 0,84                  | 0,75  | 0,68  | -0,65 |
| 8         | 12                  | 10 | 2  | 15 | 0,94                  | 0,93  | 0,90  | -0,86 |
| 9         | 7                   | 5  | 1  | 16 | 0,84                  | -0,63 | -0,61 | 0,60  |
| 10        | 8                   | 12 | 2  | 14 | 0,93                  | 0,91  | 0,89  | 0,81  |
| 11        | 7                   | 4  | 15 | 3  | -0,65                 | -0,58 | 0,55  | -0,48 |
| 12        | 8                   | 2  | 10 | 13 | 0,94                  | 0,93  | 0,91  | 0,89  |
| 13        | 12                  | 2  | 4  | 10 | 0,89                  | 0,79  | 0,72  | 0,72  |
| 14        | 2                   | 10 | 12 | 8  | 0,89                  | 0,81  | 0,74  | 0,73  |
| 15        | 8                   | 2  | 12 | 10 | -0,86                 | -0,82 | -0,80 | -0,73 |
| 16        | 9                   | 10 | 8  | 12 | 0,60                  | 0,53  | 0,46  | 0,45  |

Таблица 4. Группы валютных пар, наиболее коррелированные с заданным валютным инструментом (101-200 дни)

| Вал. пара | Корр. валютные пары |    |    |    | Значения коэфф. корр. |       |       |       |
|-----------|---------------------|----|----|----|-----------------------|-------|-------|-------|
|           | 1                   | 2  | 3  | 4  | 1                     | 2     | 3     | 4     |
| 1         | 2                   | 13 | 12 | 11 | 0,98                  | 0,98  | 0,98  | 0,97  |
| 2         | 12                  | 14 | 16 | 10 | 0,99                  | 0,99  | 0,99  | 0,99  |
| 3         | 9                   | 11 | 10 | 7  | -0,79                 | -0,75 | -0,73 | 0,72  |
| 4         | 1                   | 13 | 12 | 2  | 0,92                  | 0,91  | 0,91  | 0,91  |
| 5         | 6                   | 3  | 8  | 16 | 0,36                  | 0,27  | -0,26 | -0,18 |
| 6         | 16                  | 15 | 2  | 14 | -0,96                 | -0,96 | -0,96 | -0,95 |
| 7         | 11                  | 14 | 10 | 15 | -0,98                 | -0,96 | -0,96 | -0,96 |
| 8         | 16                  | 14 | 10 | 2  | 0,98                  | 0,97  | 0,97  | 0,97  |
| 9         | 10                  | 11 | 14 | 16 | 0,98                  | 0,98  | 0,96  | 0,95  |
| 10        | 14                  | 16 | 11 | 2  | 1                     | 0,99  | 0,99  | 0,99  |
| 11        | 10                  | 14 | 7  | 9  | 0,99                  | 0,98  | -0,98 | 0,98  |
| 12        | 13                  | 2  | 16 | 15 | 1                     | 0,99  | 0,99  | 0,98  |
| 13        | 12                  | 1  | 2  | 15 | 1                     | 0,98  | 0,98  | 0,97  |
| 14        | 10                  | 16 | 15 | 2  | 1                     | 0,99  | 0,99  | 0,99  |
| 15        | 16                  | 14 | 10 | 2  | 1                     | 0,99  | 0,99  | 0,99  |
| 16        | 15                  | 14 | 2  | 10 | 1                     | 0,99  | 0,99  | 0,99  |



Данный вывод очередной раз подтверждает тезис о хаотической природе котировок валютных активов. Тем не менее, изменение в структуре зависимостей происходит значительно медленнее, чем в самом процессе изменения котировок.

Для подтверждения последнего тезиса рассмотрим динамику изменения коэффициента корреляции между сильно связанными парами валютных инструментов  $\langle 2, 12 \rangle$  для больших скользящих окон наблюдения (50 дней) на интервале 100 дней с шагом в один день (рис. 5).

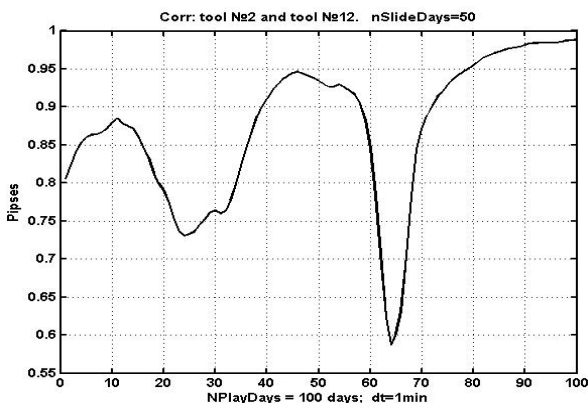


Рис. 5. Динамика коэффициента корреляции для валютных пар  $\langle 2, 12 \rangle$  при скользящем окне наблюдения  $w=50$  дней

Из приведенного графика видно, что значения коэффициента корреляции изменяются достаточно медленно, что подтверждает возможность оценивания рыночной стоимости валютных активов методом многомерной регрессии.

Кроме того, относительная упорядоченность корреляционных связей позволяет использовать парные (или рыночно-нейтральных) стратегии. Однако следует иметь в виду, что на малых окнах наблюдения вариабельность оценок корреляций достаточно велика (см. рис. 4а, 4б) и, следовательно, необходимо иметь достаточный запас депозита для защиты от их случайных флуктуаций.

**6. Сопоставление процессов изменений котировок и корреляционных связей.** Для сравнения динамики изменения котировок с динамикой изменения корреляционных связей на рис. 6 приведены их синхронные графики.

На верхнем графике изображено изменение оценки модуля коэффициента корреляции между сильно коррелированными валютными

инструментами  $\langle 2, 12 \rangle$ , формируемой на скользящем окне размером 25 дней, а на нижнем графике – динамика разности центрированных значений котировок валютных инструментов  $\langle 2, 12 \rangle$   
 $d(t) = Y_2(t) - Y_{12}(t)$ .

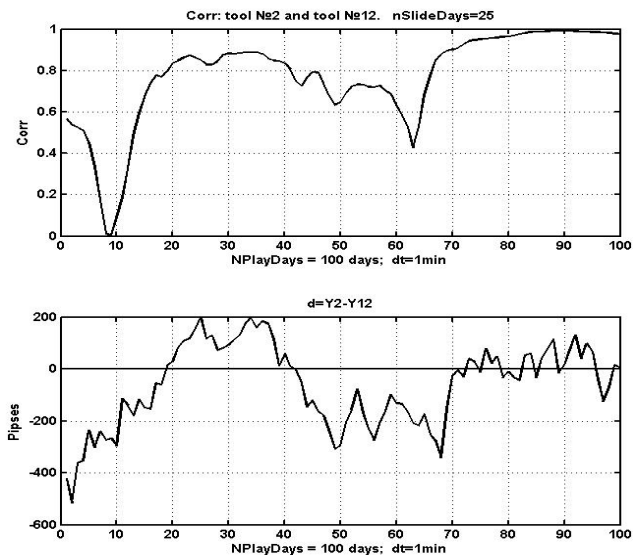


Рис. 6. Синхронизированные графики динамики изменения коэффициента корреляции (верхний график) и разности центрированных котировок валютной пары  $\langle 2, 12 \rangle$

Из приведенных графиков можно видеть тенденцию к расхождению процесса  $d(t)$  при снижении модуля коэффициента корреляции. В случае если коэффициент корреляции будет принимать отрицательные значения, парная стратегия должна строиться не на основе разности, а на основе суммы коррелированных инструментов. Тем не менее, использовать коэффициент корреляции в качестве адапционного показателя достаточно сложно в силу временных задержек, характерных для процесса оценивания статистических параметров хаотических процессов.

Оптимизация адаптивного процесса будет связана с нахождением компромиссного решения, отвечающего условиям минимизации реакции оценки корреляции на изменение динамики котировок и минимизации уровня ложных тревог, обусловленных несистемными

флуктуациями. В соответствии с распространенной методологией оптимизации, один из этих показателей будет сформирован в форме допустимого ограничения, а второй будет подлежать минимизации.

**7. Анализ взаимосвязей валютных пар на больших интервалах оценивания.** Сравним последовательности номеров валютных пар, упорядоченных по степени их коррелированности с каждым из 16-ти валютных инструментов, представленных в таблице 1, для интервалов оценивания в 50 дней (таблица 5) и 300 дней (таблица 6). В первом столбце приведены последовательности номеров валютных инструментов, а во втором ряду – указанная последовательность, составленная из остальных валютных пар и упорядоченная по убыванию модуля коэффициента корреляции.

Таблица 5. Номера валютных пар, упорядоченные по убыванию модуля коэффициента корреляции, интервал наблюдения - 50 дней

| Вал. пара | Коррелированные валютные пары |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-----------|-------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|           | 5                             | 3  | 9  | 7  | 14 | 6  | 2  | 10 | 8  | 16 | 12 | 15 | 13 |
| 1         | 5                             | 3  | 9  | 7  | 14 | 6  | 2  | 10 | 8  | 16 | 12 | 15 | 13 |
| 2         | 4                             | 12 | 8  | 14 | 13 | 10 | 3  | 16 | 15 | 11 | 7  | 1  | 5  |
| 3         | 5                             | 1  | 9  | 6  | 14 | 11 | 2  | 15 | 4  | 7  | 10 | 16 | 13 |
| 4         | 12                            | 8  | 2  | 7  | 13 | 10 | 15 | 11 | 9  | 16 | 3  | 14 | 6  |
| 5         | 3                             | 1  | 6  | 9  | 7  | 14 | 16 | 10 | 2  | 11 | 8  | 12 | 15 |
| 6         | 5                             | 3  | 11 | 15 | 9  | 16 | 1  | 13 | 10 | 2  | 12 | 4  | 7  |
| 7         | 9                             | 8  | 12 | 4  | 10 | 1  | 16 | 15 | 5  | 13 | 11 | 2  | 3  |
| 8         | 12                            | 10 | 4  | 7  | 2  | 16 | 9  | 13 | 15 | 11 | 1  | 14 | 5  |
| 9         | 7                             | 10 | 1  | 5  | 8  | 12 | 16 | 3  | 4  | 6  | 13 | 14 | 15 |
| 10        | 8                             | 16 | 12 | 9  | 7  | 4  | 2  | 13 | 5  | 6  | 1  | 14 | 3  |
| 11        | 15                            | 3  | 4  | 6  | 8  | 7  | 2  | 12 | 5  | 13 | 16 | 9  | 14 |
| 12        | 8                             | 4  | 13 | 10 | 2  | 7  | 16 | 9  | 15 | 11 | 14 | 5  | 6  |
| 13        | 12                            | 4  | 2  | 16 | 8  | 10 | 7  | 9  | 6  | 14 | 3  | 5  | 11 |
| 14        | 2                             | 1  | 3  | 5  | 16 | 12 | 9  | 10 | 8  | 13 | 4  | 7  | 6  |
| 15        | 11                            | 4  | 8  | 7  | 2  | 6  | 12 | 3  | 10 | 9  | 5  | 16 | 1  |
| 16        | 10                            | 12 | 8  | 9  | 13 | 7  | 2  | 4  | 6  | 5  | 14 | 1  | 3  |

Из приведенных таблиц видно, что, в отличие от статистических моделей, рост окна наблюдения хаотических данных не приводит к стабилизации значения коэффициента корреляции и, как следствие, к установлению фиксированного списка предикторов для задачи регрессионного анализа. Таким образом, выбор предикторов регрессионной схемы должен периодически корректироваться.

Таблица 6. Номера валютных пар, упорядоченные по убыванию модуля коэффициента корреляции, интервал наблюдения 300 дней

| Вал. пара | Коррелированные валютные пары |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-----------|-------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|           | 1                             | 13 | 15 | 7  | 6  | 2  | 16 | 12 | 11 | 14 | 10 | 4  | 9  |
| 2         | 12                            | 14 | 16 | 10 | 13 | 6  | 11 | 1  | 15 | 4  | 9  | 8  | 7  |
| 3         | 9                             | 10 | 11 | 16 | 6  | 15 | 12 | 2  | 8  | 14 | 13 | 5  | 4  |
| 4         | 2                             | 12 | 10 | 16 | 13 | 6  | 11 | 1  | 9  | 14 | 15 | 8  | 7  |
| 5         | 3                             | 9  | 8  | 6  | 10 | 11 | 16 | 12 | 15 | 2  | 14 | 4  | 13 |
| 6         | 16                            | 11 | 15 | 13 | 10 | 12 | 2  | 1  | 14 | 9  | 4  | 7  | 3  |
| 7         | 1                             | 15 | 13 | 6  | 14 | 11 | 16 | 2  | 12 | 10 | 4  | 9  | 3  |
| 8         | 10                            | 2  | 14 | 12 | 16 | 9  | 4  | 11 | 6  | 13 | 3  | 15 | 1  |
| 9         | 3                             | 10 | 11 | 16 | 6  | 2  | 12 | 15 | 14 | 4  | 13 | 8  | 1  |
| 10        | 16                            | 11 | 2  | 12 | 14 | 6  | 9  | 13 | 15 | 1  | 4  | 8  | 3  |
| 11        | 10                            | 16 | 15 | 6  | 13 | 2  | 12 | 9  | 14 | 1  | 3  | 4  | 7  |
| 12        | 2                             | 13 | 14 | 16 | 10 | 6  | 11 | 15 | 1  | 4  | 9  | 8  | 7  |
| 13        | 12                            | 1  | 16 | 15 | 2  | 6  | 14 | 11 | 10 | 7  | 4  | 9  | 8  |
| 14        | 2                             | 12 | 16 | 10 | 13 | 11 | 6  | 15 | 1  | 8  | 7  | 9  | 4  |
| 15        | 16                            | 11 | 6  | 13 | 1  | 12 | 10 | 14 | 2  | 7  | 9  | 4  | 3  |
| 16        | 10                            | 12 | 15 | 2  | 11 | 14 | 6  | 13 | 1  | 9  | 4  | 7  | 8  |

**8. Анализ изменения коэффициента корреляции для выборки нарастающего объема.** Выше были приведены графики изменения коэффициента корреляции для выборок различного размера, формируемых на скользящем окне наблюдения.

Теперь рассмотрим динамику изменения этого же параметра для выборки нарастающего объема

Для анализа характера изменения коэффициента корреляции использовались две валютных пары <2, 12> и <8, 10> с сильной корреляцией и одна валютная пара <1, 5> с очень слабой корреляцией.

Расчет осуществляется по выборке нарастающего объема с интервалом в 10 дней на 10 шагах оценивания, т.е. до размера выборки в 100 дней.

На рис. 7 представлены графики изменения коэффициента корреляции для валютных пар <2, 12> (верхний ряд) и <8, 10> (нижний ряд). В правом столбце приведены графики для первого 100-дневного интервала наблюдения, а второй график – для второго, непересекающегося с первым 100-дневным интервалом.

На рис. 8 приведены результаты тех же вычислений для общего 300-х дневного интервала наблюдения.

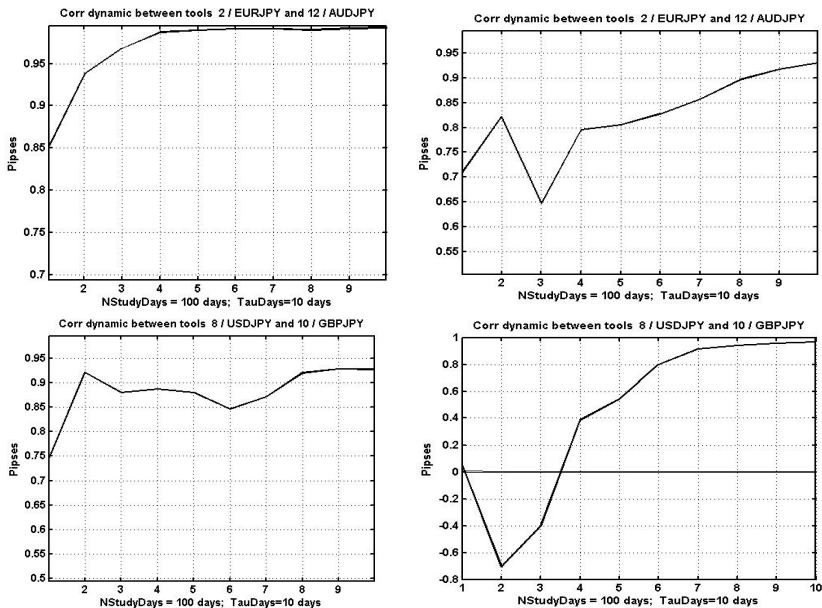


Рис 7. Изменение коэффициента корреляции для валютных пар <2, 12> (верхний ряд) и <8, 10> (нижний ряд) для двух 100-дневных интервалов наблюдения по выборке нарастающего объема

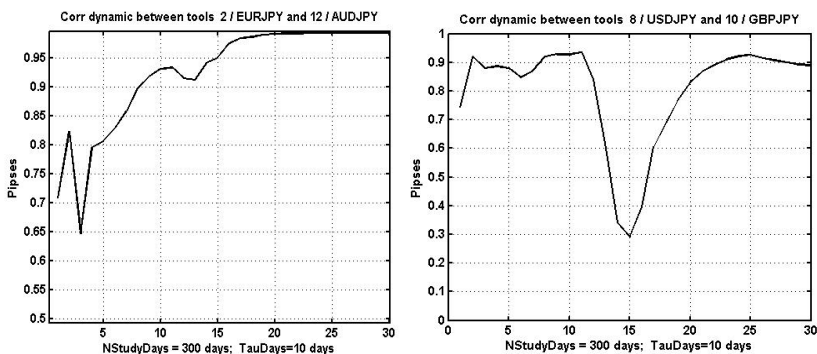


Рис 8. Изменение коэффициента корреляции для валютных пар <2, 12> и <8, 10> для 300-дневного интервалов наблюдения по выборке нарастающего объема.

Очевидно, что приведенные графики, основанные на выборке нарастающего объема, в разных своих частях обладают разной чувствительностью к локальным вариациям валютных пар. В начале графи-

ков их динамика весьма чувствительна к локальным корреляциям, а ближе к концу – в большей степени отражает усредненную меру корреляционной связи.

**9. Заключение.** Представленные в статье материалы служат эмпирической платформой для формирования процедуры динамической коррекции алгоритмов управления торговыми операциями на валютном рынке.

Основным теоретическим выводом из приведенных численных исследований корреляционных связей является установление факта наличия локальных упорядоченных структур в многомерных хаотических процессах, протекающих на рынке Forex.

В практическом плане из приведенных исследований вытекает принципиальная возможность создания управляющих стратегий, ориентированных на использование локальных упорядоченных структур в рядах наблюдений. Однако в силу нестационарности хаотических процессов требуются периодические перенастройки параметров, а иногда и всей структуры управляющей стратегии. Другими словами, требуется адаптация управления к относительно медленным изменениям корреляционной структуры.

В то же время следует иметь в виду, что адаптация в хаосе – не панацея, а целый ряд новых проблем, связанных с принципиальными задержками адаптивного контура управления.

Кроме того, оценки многомерных корреляций могут служить основой для формирования нового класса обобщенных индикаторов рынка. В частности, для этих целей могут использоваться оценки факторов влияния, формируемые методом факторного анализа, или главные компоненты наблюдаемых процессов. Данному вопросу предполагается посвятить последующие исследования.

### Литература

1. *Peters E. E.* Chaos and order in the capital markets: a new view of cycles, prices, and market volatility (2nd ed.) // NY: John Wiley & Sons, 1996. 288p.
2. *Williams B.M.* Trading chaos // NY: John Wiley & Sons, Inc. 2002. 251p.
3. *Мусаев А.А.* Quod est veritas. Трансформация взглядов на системную составляющую наблюдаемого процесса // Труды СПИИРАН. 2010. Вып. 15. С. 53–74.
4. *Мусаев А.А.* Моделирование котировок торговых активов // Труды СПИИРАН. 2011. Вып. 17. С. 5–32.
5. *Колодко Д.В.* Нестационарность и самоподобие валютного рынка Forex // Управление экономическими системами. 2012 №3. URL: <http://www.uecs.ru/uecs-39-392012/item/1144--forex>.
6. *Мусаев А.А.* Статистический анализ инерционности хаотических процессов // Труды СПИИРАН. 2014. Вып. 2(33). С. 48-59.
7. *Чекулаев М.* Торгуем в тренде // Валютный спекулянт. 2006. № 2. URL: [http://www.spekulant.ru/archive/Torguem\\_v\\_trende.html](http://www.spekulant.ru/archive/Torguem_v_trende.html).

8. Чеботарев Ю. Торговые роботы на российском фондовом рынке // М.: Омега-Л. 2006. 144 с.
9. Гринблат Д. Из прошлого в будущее // *Forex magazine*. 2014. №523/15. С. 22-24.
10. Bosse T., Treur J., Jonker C.M. Formal analysis of design process dynamics // *AI EDAM*. 2010. vol. 24. no. 3. pp. 397–423.
11. Lien K. Day Trading the Currency Market: Technical and Fundamental Strategies to Profit from Market Swings // NY: Wiley & Sons, Inc. 2005. 256 p.
12. Мусаев А.А. Корреляционный анализ процессов изменения состояния фондовых и валютных рынков // Труды СПИИРАН. 2011. Вып. 18. С. 5-18.
13. Канторович Г.Г. Анализ временных рядов // *Экономический журнал ВШЭ*. 2002. №2. С. 251–273.
14. Перцовский О.Е. Моделирование валютных рынков на основе процессов с длинной памятью: Препринт WP2/2004/03 // М.: ГУ ВШЭ, 2003. 52 с.
15. Bolch B.W., Huang, C. J. Multivariate statistical methods for business and economics // N.J.: Englewood Cliffs. 1974. 317p.
16. Айвазян С. А., Мхитарян В. С. Прикладная статистика и основы эконометрии: Учебник для вузов. // М.: ЮНИТИ. 1998. 1022с.
17. Мусаев А.А., Барласов И. А. Оценивание состояния фондовых рынков на основе многомерной регрессии на скользящем окне наблюдения // Труды СПИИРАН. 2012. Вып. 19. С. 243–254.
18. Колби Р., Мейерс Т. Энциклопедия технических индикаторов рынка // М.: Альпина бизнес букс. 2007. 837с.
19. Engle R.F., Granger C.W.J. Co-integration and Error Correction: Representation, Estimation and Testing // *Econometrics*. 1987. vol. 55. no.2. pp. 251-76.
20. Мусаев А.А. Статистические свойства линейных форм валютных инструментов // Труды СПИИРАН. 2011. Вып. 16. С. 141–159.

## References

1. Peters E. E. Chaos and order in the capital markets: a new view of cycles, prices, and market volatility (2nd ed.). NY: John Wiley & Sons, 1996. 288p.
2. Williams B.M. Trading chaos. NY: John Wiley & Sons, Inc. 2002. 251p.
3. Musaev A.A. [Quod est veritas. Transformation of views for a system component of observed process]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2010. vol. 15. pp. 53-57. (In Russ.).
4. Musaev A.A. [Modeling of quotations of trade assets]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2011. vol. 17. pp. 5–32. (In Russ.).
5. Kolodko D.V. [Not stationarity and self-similarity of the currency market Forex]. *Upravlenie jekonomicheskimi sistemami – Management of economic systems*. 2012 no.3. Available at: <http://www.uecs.ru/uecs-39-392012/item/1144--forex>. (accessed: 26.11.2014). (In Russ.).
6. Musaev A.A. [Statistical analysis of a lag effect of chaotic processes]. *Trudy SPIIRAN - SPIIRAS Proceedings*. 2011. vol. 2(33). pp. 48-59. (In Russ.).
7. Chekulaev M. [We trade in a trend]. *Valjutnyj spekuljant – Plural currency speculators*. 2006. no. 2. Available at: [http://www.spekulant.ru /archive /Torguem \\_v\\_trende.html](http://www.spekulant.ru /archive /Torguem _v_trende.html). (In Russ.).
8. Chebotarev Yu. [Trade robots in the Russian stock market] *Torgovie roboti na rossiiskom fondovom rinke*. Moscow: Omega-L. 2006. 144p. (In Russ.).
9. Grinblat D. [From the past in the future]. *Forex magazine*. 2014. no.523/15. pp. 22-24. (In Russ.).
10. Bosse T., Treur J., Jonker C.M. Formal analysis of design process dynamics. *AI EDAM*. 2010. vol. 24. no. 3. pp. 397–423.

11. Lien K. Day Trading the Currency Market: Technical and Fundamental Strategies to Profit from Market Swings. NY: Wiley & Sons, Inc. 2005. 256 p.
12. Musaev A.A. [Correlation analysis of processes on the stock and currency markets]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2011. vol. 18. pp. 5–18. (In Russ.).
13. Kantorovich G.G. [Time series analysis]. *Jekonomicheskij zhurnal VShJe – Economical Journal HES*. 2002. no. 2. pp. 251–273. (In Russ.).
14. Percovskii O.E. [Modeling of the currency markets on the basis of processes with long memory] Modelirovanie valyutnih rinkov ha osnove processov s dlinnoi pamyatyu: Preprint WP2/2004/03. Moscow: GU HES, 2003. 52p. (In Russ.).
15. Bolch B.W., Huang, C. J. Multivariate statistical methods for business and economics. N.J.: Englewood Cliffs. 1974. 317p.
16. Aivazyan S.A., Mhitaryan B.C. [Applied statistics and fundamentals of econometrics: The textbook for higher education institutions]. *Prikladnaya statistika i osnovi econometrii: Uchebnik dlya vusov*. Moscow: UNITI. 1998. 1022p. (In Russ.).
17. Musaev A.A., Barlasov I.A. [Estimation of a stock markets state on the basis of multi-dimensional regression on the sliding watch window] *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2012. vol. 19. pp. 243–254. (In Russ.).
18. Colby R., Mayers T. [Encyclopedia of technical indicators of the market] *Encyclopedia tehniceskikh indikatorov rinka*. Moscow: Alpina Business books. 2007. 837p.
19. Engle R.F., Granger C.W.J. Co-integration and Error Correction: Representation, Estimation and Testing. *Econometrics*. 1987. vol. 55. no. 2. pp. 251–76.
20. Musaev A.A. [Statistical properties of linear forms of currency tools]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2011. vol. 16. pp. 141–159. (In Russ.).

**Мусаев Александр Азерович** — д-р техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории информационных технологий в системном анализе и моделировании, Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН), декан факультета информационных технологий и управления, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), научный консультант, ОАО Специализированная инжиниринговая компания «Севзапмонтажавтоматика». Область научных интересов: прикладная статистика, анализ данных, прогнозирование. Число научных публикаций — 220. amusaev@technolog.edu.ru; 14-я линия В.О., д. 39, Санкт-Петербург, 199178; р.т.: +7-(812)-494-9323, Факс: +7 (812)350-1113.

**Musaev Alexander Azerovich** — Ph.D., Dr. Sci., professor, leading researcher, laboratory of IT in System Analysis and Modeling of St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of Russian Academy of Sciences (SPIIRAS), dean of IT and control systems department, St. Petersburg State Technological Institute (technical university), expert, public corporation Specialized Engineering Company "Sevzapmontageautomatica". Research interests: data analysis, complicated dynamic processes prognosis and control, stochastic chaos systems. The number of publications — 220. amusaev@technolog.edu.ru; 39, 14-th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia, SPIIRAS; office phone: +7-(812)-494-9323, Fax: +7 (812)350-1113.



## РЕФЕРАТ

### *Мусаев А.А.* **Корреляционный анализ хаотической динамики валютного рынка.**

Теоретический аспект данной работы относится к группе исследований, ориентированных на изучение природы возникновения порядка в хаотических средах. Прикладной вопрос исследований эволюции корреляционных связей в многомерном хаотическом процессе направлен на задачу непрямого прогноза состояния объекта в многомерной и многосвязной хаотической среде.

Главной особенностью динамических процессов, отражающих состояние валютного и других электронных рынков, является хаотическая природа изменения котировок рыночных активов. Генезис рыночного хаоса связан с неустойчивостью процесса ценообразования. Стоимость активов формируется под воздействием огромного количества гетерогенных трудно предсказуемых факторов. При этом рыночная цена отражает не столько реальную стоимость актива, сколько субъективное, мгновенно изменяющееся представление рынка о его текущем состоянии.

В этих условиях попытки построения эффективной управляющей стратегии, основанной на прямом прогнозировании состояния рынка, обречены на провал. Тем не менее, факт существования небольшого процента успешных трейдеров позволяет сделать предположение о наличии некоторых упорядочивающих факторов, позволяющих косвенно судить о возможных изменениях состояния рынка.

В качестве варианта поиска такого упорядочивающего начала в настоящей статье приведено исследование корреляционных связей между различными финансовыми инструментами валютного рынка.

Одной из задач корреляционного анализа валютного рынка является выявление финансовых инструментов, которые, в силу наличия естественных корреляционных взаимных связей, могут использоваться в качестве предикторов в задаче регрессионного восстановления оценки текущей стоимости рыночного актива. Сопоставление полученной регрессионной оценки с его текущей стоимостью позволяет определить уровень недооценки или переоценки актива. Данный результат, в свою очередь, дает возможность построить рыночный индикатор осцилляторного типа и отвечающую ему управляющую стратегию.

Другой важной практической задачей является разработка аппарата, позволяющего выявлять финансовые инструменты для реализации торговых стратегий, не зависящих от трендов.

Таким образом, проводимый в настоящей работе корреляционный анализ представляет собой некоторую эмпирическую платформу, позволяющую перейти от схемы построения управляющих стратегий на основе анализа одномерного хаотического процесса к схеме, базирующейся на многомерном квазихаотическом процессе. При этом снижение степени хаотичности достигается за счет учета относительно стабильных статистических связей между валютными инструментами.

## SUMMARY

### *Musaev A.A.* **Correlation Analysis of the Currency Market Chaotic Dynamics.**

The theoretical aspect of this work belongs to the group of the researches focused on studying of the nature of emergence of order in chaotic environments. The applied question of researches of correlation evolution in multidimensional chaotic process is aimed at a task of the implicit forecast of a state of object in the multidimensional and multicoherent chaotic environment.

The main feature of the dynamic processes, reflecting state of currency and other electronic markets, is the chaotic nature of change of market assets quotations. Genesis of market chaos is connected with instability of pricing process. The cost of assets is formed under the influence of a huge number of heterogeneous factors, which are difficult to predict. Thus, market price reflects not so much the real cost of an asset as the subjective, instantly changing ideas about current state of the markets.

Owing to the basic dialectic principles, chaotic process can't be absolutely steady; it is characterized by appearance of local tendencies, keeping trends or a quasiperiodic component during uncertain interval of time.

Under these circumstances, any attempts of the effective operating strategy creation based on direct forecasting of the market state are doomed to failure. Nevertheless, the fact of existence of a small percentage of successful traders allows one to make the assumption about existence of some ordering factors. So, it becomes possible to indirectly judge about the market state changes.

Research of correlations between various financial instruments of the currency market is given as an option of search of such order factors.

One of appendices of the correlation analysis of the currency market is identification of financial tools which, owing to the existence of a natural correlation, can be used as predictors in a problem of regression restoration of an assessment of the current cost of a market asset. Comparison of the received regression assessment to its current cost allows one to determine the level of underestimation or revaluation of an asset. This result, in turn, gives the chance to construct the market indicator of oscillator type and the operating strategy answering to it.

The correlation analysis, which is carried out in the real work, represents some information platform allowing to pass from the scheme of creation of operating strategy on the basis of the analysis of one-dimensional chaotic process to the scheme which is based on multidimensional quasichaotic process. Thus, decrease in chaotic degree is reached at the expense of the accounting of rather stable statistical relations between currency tools.