

А.А. МУСАЕВ

СТАТИСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛИНЕЙНЫХ ФОРМ ВАЛЮТНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Мусаев А.А. Статистические свойства линейных форм валютных инструментов.

Аннотация. Проведен численный анализ статистических свойств бинарных линейных форм котировок валютных инструментов. Предложены варианты построения указанных форм для 25 критериев их селекции. Правила селекции соответствуют выбору линейных форм с вероятностными характеристиками, определяющими технологии торговых стратегий. Установлено наличие относительной временной стабильности рейтингов, позволяющей использовать результаты селекции непосредственно при проведении торговых операций или уточнять их на основе адаптивного подхода.

Ключевые слова: валютные инструменты, котировки, линейная форма, статистические свойства.

Musaev A.A. Statistical properties of currency tools quotations linear forms.

Abstract. The numerical analysis of statistical properties linear binary forms of currency tools quotations is carried out. Variants of construction of the specified linear forms for 25 criteria of their selection are resulted. Selection rules correspond to a choice of linear forms with the statistical characteristics defining the trading strategy technologies. Presence of relative time stability of the ratings is established. This is allowing to use results of selection directly at trading operations carrying out or to correct them on the basis of the adaptive approach.

Keywords: currency tools, quotations, linear form, statistical properties.

1. Введение. Проведение торговых операций на наличном рынке (товаров, ценных бумаг, валюты) сопряжено с высоким уровнем ценовых рисков. Одним из распространенных способов их снижения является применение групповых или синтетических торговых инструментов. В этом случае торговая стратегия ориентирована на одновременное использование группы финансовых инструментов, совокупная динамика которых обладает более устойчивыми или иными позитивными статистическими свойствами, чем у отдельных инструментов.

Примером групповой стратегии является *хеджирование*, состоящее в компенсации воздействия ценовых рисков путем контригры, т. е. в противоположном направлении, по срочным сделкам на другом рынке [1, 2]. По существу, хеджирование осуществляется с целью страхования рисков изменения цен путем заключения сделок на срочных рынках. Однако компенсационная технология хеджирования может использоваться и в случае, когда демпфирование негативной динамики цены основного актива осуществляется на том же самом рынке. В этом случае реализуется некоторая версия группового инструмента, использование которого позволяет снизить торговые риски.

Развитие данного подхода приводит к формированию концепции торгового портфеля (по аналогии с инвестиционным портфелем), для которого суммарная динамика содержащихся в нем активов будет обладать существенно меньшим риском. С математической точки зрения речь идет о формировании линейной формы котировок финансовых инструментов вида

$$z(t) = \sum_{i=1}^m a_i x_i(t), \quad (1)$$

где $x_i(t)$, $i=1, \dots, m$ — вектор котировок активов, используемых при формировании торгового портфеля; $a_i(t)$, $i=1, \dots, m$ — весовые коэффициенты, которые определяются объемом торговой операции (например, числом купленных акций или размером лота соответствующей валюты).

Динамика котировок $x_i(t)$, $i=1, \dots, m$ — нелинейный нестационарный случайный процесс, содержащий стохастическую хаотическую составляющую [3]. В этом случае достаточно сложно аналитически оценить статистические свойства их линейной комбинации $z(t)$. Тем не менее исходя из предварительных оценок статистических свойств $x_i(t)$ можно сделать некоторые предположения о поведении $z(t)$, что является крайне важным результатом с точки зрения выбора торговой стратегии и ее оптимизации. В частности, одновременное использование двух инструментов с явно выраженной антикорреляцией позволяет получить бинарный портфель $z(t)$, у которого размах траектории будет существенно меньше, чем у составляющих его котировок.

В настоящем исследовании осуществлен численный анализ статистических свойств линейных комбинаций $z(t)$ для различных вариантов селекции пар валютных инструментов. Наиболее подробно исследуется простейший случай с $m=2$, $a_1 = a_2 = 1$, позволяющий получить интерпретируемые результаты и наглядную визуализацию получаемых результатов.

2. Постановка задачи. Целью любых торговых операций является достижение максимальной прибыли, которая обычно оценивается в терминах относительного полученного за определенный промежуток времени выигрыша

$$G = (\delta K / K) \cdot 100\%,$$

где δK — абсолютное значение выигрыша; K — начальный капитал, формируемый в виде депозита на счету трейдерской или брокерской компании.

Однако применение торговой стратегии S , ориентированной на максимизацию прибыли $G = \max$, как правило, ведет к разорению биржевого игрока, т. е. к наступлению события $B = \delta K < -K$. В связи с этим торговые стратегии строятся на основе технологий условной оптимизации. В силу вероятностной природы ценообразования торговых активов критерии эффективности торговых операций также носят статистический характер. В частности, в качестве критерия эффективности торговой стратегии можно использовать соотношение

$$E\{G\} = \max \text{ при условии } P_S\{B\} < P^*, \quad (2)$$

где $E\{G\}$ — средняя прибыль; $P_S\{B\}$ — вероятность банкротства (риск торговых операций) при условии использования торговой стратегии S ; P^* — критическое значение риска, выбираемое из сопоставления текущей динамики котировок с результатами анализа динамики среды взаимодействий и особенностей выбранной торговой стратегии.

Понятие вероятности носит асимптотический характер и вместо него всегда используются соответствующие оценки (частота наступления события). В силу нестационарности изменения котировок статистические оценки весьма некорректны, носят ориентировочный характер и изменяются во времени. Тем не менее приведенный критерий (2) с прикладной точки зрения является наиболее гармоничным и наиболее широко распространенным при выборе текущей торговой стратегии S .

В настоящей работе основное внимание уделяется одному из важных приемов снижения торговых рисков, основанных на использовании групповых инструментов (1). Задача состоит в формировании группового инструмента (1), для которого результирующий риск $P_S\{B\}$ был бы гарантировано меньшим, чем при использовании той же торговой стратегии, чем при работе с отдельным финансовым инструментом. Основанием для такого результата являются оценки статистических свойств групповых инструментов. Численному исследованию этого вопроса посвящена настоящая статья.

3. Предварительные исследования. Корреляционный анализ котировок валютных инструментов. Основной характеристикой связанной направленности двух случайных величин X_i и X_j является наличие статистической линейной зависимости между ними. В каче-

стве меры такой зависимости обычно используется оценка коэффициента корреляции \hat{r}_{kj} . Поскольку траектории котировок торговых активов представляют собой реализации нестационарных случайных процессов, использование оценки \hat{r}_{kj} для анализа степени линейной зависимости между ними некорректно. Тем не менее, как это показано ниже, применение \hat{r}_{kj} для набора различных по длительности интервалов наблюдения может дать полезную информацию при выработке управляющих торговых решений.

В качестве объекта анализа будем использовать часто используемый в практике торговых операций набор валютных инструментов, представленный в табл. 1.

Таблица 1. Валютные инструменты

Номер валютной пары	Типовая аббревиатура	Номер валютной пары	Типовая аббревиатура
1	EURUSD	9	GBPCHE
2	EURJPY	10	GBPJPY
3	EURGBP	11	GBPUSD
4	EURCHF	12	AUDJPY
5	EURCAD	13	AUDUSD
6	USDCAD	14	CHFJPY
7	USDCHE	15	NZDUSD
8	USDJPY	16	NZDJPY

Для оценки корреляционной матрицы этого набора в качестве примера используем 100-суточный интервал наблюдения с дискретностью наблюдения $\Delta t = 5$ мин. Весьма наглядное отображение степени взаимной коррелированности всей совокупности валютных инструментов дает тоновая матрица, в которой диапазону возможных изменений коэффициентов корреляции (от -1 до 1) сопоставлена тоновая шкала (рис. 1). Количественные номиналы тоновой шкалы отображаются в виде вертикального тонового столбца, расположенного слева от основной матрицы. Диагональные элементы соответствуют дисперсии исследуемых параметров, которые для корреляционной матрицы, в силу ее нормировки, всегда равны 1. Значения остальных элементов матрицы изменяются от -1 до 1 в зависимости от степени корреляционной связности. Соответственно изменяются тональности отвечающих им ячеек тоновой матрицы.

Общее число пар для $n = 16$ валютных инструментов определяется числом бинарных сочетаний $N = C_n^2 = n! / ((n-2)!2!) = 120$.

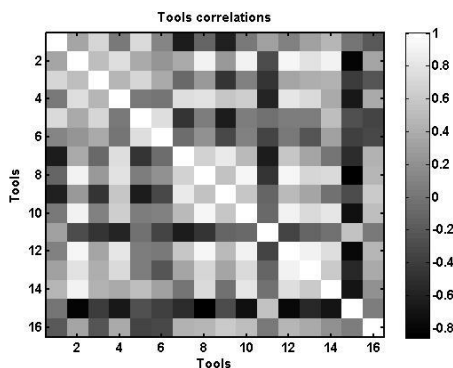


Рис. 1. Корреляционная матрица валютных инструментов.

В качестве примера можно рассмотреть торговую стратегию, ориентированную на снижение максимального проигрыша при отсутствии ограничений по уровню проигрыша SL (*stop loss*). В этом случае селекцию пар линейной формы (1) можно осуществлять по критерию максимальной по модулю антикорреляции $\text{corr}(x_i, x_j) = \min$ или максимальной корреляции $\text{corr}(x_i, x_j) = \max$. При этом в первом случае предполагается использовать сумму входящих в (1) финансовых инструментов ($a_1 = a_2 = 1$), а во втором — их разность ($a_1 = 1, a_2 = -1$). Результат селекции пяти валютных пар представлен в табл. 2.

Таблица 2. Результат селекции валютных пар

Номер пары	Финансовый инструмент		r	Номер пары	Финансовый инструмент		r
	1	2			1	2	
Максимальная антикорреляция				Максимальная корреляция			
91	8	15	-0.86	88	8	12	0.94
28	2	15	-0.82	25	2	12	0.93
113	12	15	-0.79	86	8	10	0.92
104	10	15	-0.73	101	10	12	0.91
118	14	15	-0.68	21	2	8	0.90

Заметим, что на рассмотренном временном интервале пары с максимальной корреляцией обладают большим значением абсолютной связности, чем пары с наибольшей антикорреляцией. В связи с этим в дальнейшем будем рассматривать в основном разностную схему $z = D = x_1 - x_2$, хотя это и не имеет принципиального значения.

4. Статистическая стабильность результатов селекции. Практическое применение демпфирующих технологий, ориентированных на снижение торговых рисков и основанных на комбинации финансовых инструментов (1), возможно лишь при относительной стабильности во времени оценок параметров, используемых при формировании критериев селекции. В частности, для приведенного выше примера селекции следует иметь в виду, что полученные оценки корреляций некорректны в силу нестационарной природы ценообразования.

Чтобы убедиться в надежности данных оценок с точки зрения объективности анализа связности, построим графики изменения котировок для пары $c88 = (8/12)$ с наибольшей по модулю антикорреляцией (рис. 2) и для пары $c91 = (8/15)$ с наибольшей корреляцией (рис. 3). Из графиков явно видно наличие стохастической однонаправленности в первом случае, и разнонаправленности во втором случае.

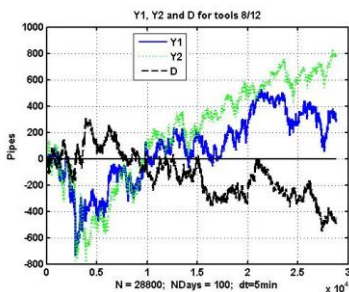


Рис. 2. Изменение котировок для пары 8/12 с наибольшей корреляцией.

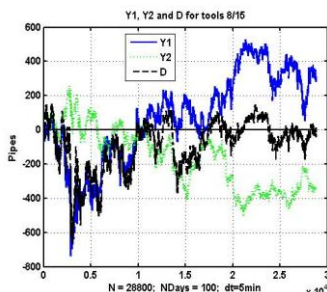


Рис. 3. Изменение котировок для пары 8/15 с наибольшей антикорреляцией.

Пунктирная линия, отвечающая линейной форме z (для коррелированных инструментов она соответствует их разности, а для антикоррелированных — сумме), как и ожидалось, обладает заметно меньшим размахом, чем образующие ее валютные инструменты. В частности для 88-й пары относительное снижение размаха составляет 46,6 %, для 25-й — 55,9 %, для 86-й — 49,4 %. Строгого роста выигрыша в размахе при увеличении степени коррелированности инструментов нет, слишком сильна стохастическая составляющая. Однако в среднем данная тенденция проявляется достаточно отчетливо.

Далее возникает вопрос об устойчивости рейтинга пар финансовых инструментов, образующих статистику $z(t)$. В частности, для приведенного примера данный вопрос относится к стабильности оце-

нок связанной направленности (одно- или разнонаправленности) динамики котировок финансовых инструментов. При этом вопрос о стабильности результатов селекции переходит в вопрос о стабильности соотношения оценок коэффициентов корреляции во времени.

Для исследования поставленного вопроса рассмотрим изменение оценок коэффициентов корреляции на 100-суточном интервале по результатам наблюдений на скользящем временном окне размера L . В качестве тестируемых пар валютных инструментов используем три пары, показавшие наилучшие результаты (по выбранному критерию) за предыдущие 100 сут. наблюдения. Так, при использовании критерия наибольшей коррелированности $\text{corr}(x_i, x_j) = \max$ наилучшие показатели имели пары $c88 = (8/12)$, $c25 = (2/12)$ и $c86 = (8/10)$. Изменения коэффициентов корреляции для скользящих окон оценивания $L = 50, 25, 10, 1$ (в сутках) представлены соответственно на рис. 4–7.

Из приведенных графиков видно, что оценки коэффициента корреляции не являются устойчивым, их значение крайне чувствительно как к изменениям вероятностной структуры данных, так и к параметрам самой процедуры оценивания (размеру окна наблюдения). Тем не менее при компромиссном выборе окна L (увеличение L приводит к задержке оценки относительно истинной степени коррелированности, уменьшение L — к несистемным колебаниям, отражающим локальные флуктуации котировок), можно получить относительно достоверный рейтинг валютных пар по степени коррелированности валютных инструментов. При этом данный рейтинг с определенной периодичностью требует коррекции. Иными словами, технология текущего выбора рабочей пары инструментов может и должна быть адаптивной.

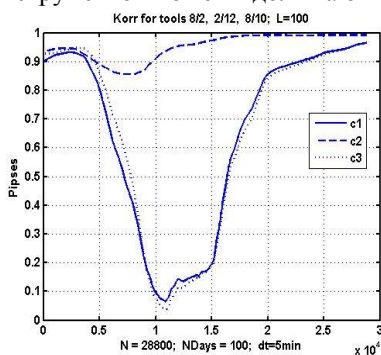


Рис. 4. Изменение оценки коэффициента корреляции при $L = 100$.

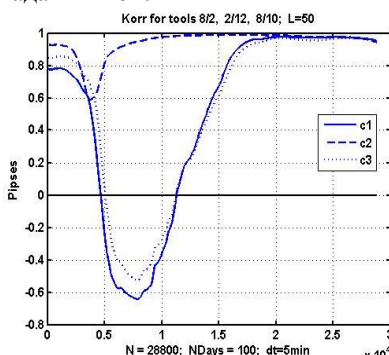


Рис. 5. Изменение оценки коэффициента корреляции при $L = 50$.

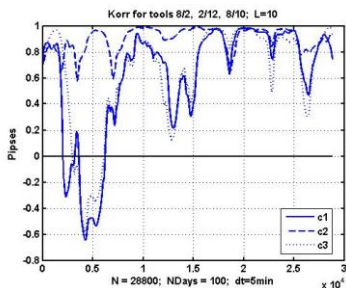


Рис. 6. Изменение оценки коэффициента корреляции при $L = 10$

При небольшом окне наблюдения L уровень локальных флуктуаций можно снизить, применяя тот или иной алгоритм сглаживания. На рис. 8 приведен график изменения оценки коэффициента корреляции при $L = 1$ для пары $c25$ совместно с его оценкой, сглаженной на основе технологии экспоненциального сглаживания

$$\hat{x}_k = \alpha \cdot x_k + \beta \cdot \hat{x}_{k-1} \quad (3)$$

где $\alpha \in [0,1]$, $\beta = 1 - \alpha$. Начальное значение \hat{x}_0 определяется как среднее значение на предшествующем участке наблюдения.

Таким образом, методика формирования рейтинга пар финансовых инструментов должна включать в себя дополнительно выбор параметров самой процедуры оценивания, что создает дополнительную неопределенность.

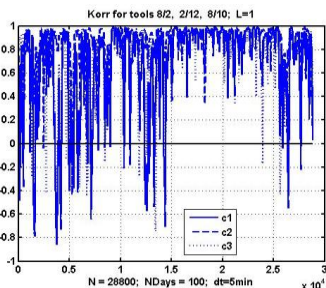
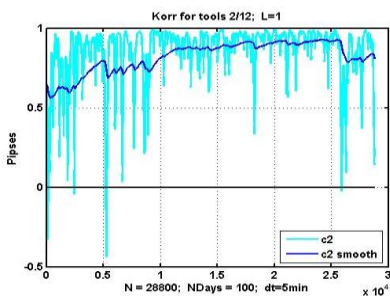


Рис. 7. Изменение оценки коэффициента корреляции при $L = 1$.

Рис. 8. Изменение оценки коэффициента корреляции для пары $c25$ при $L = 1$ и его сглаженная версия.

Важно отметить, что параметры процедуры селекции пар по своей экономической природе непостоянны даже в среднем. Всегда могут произойти некоторые экономические, финансовые, политические, военные и другие события, когда котировки «однонаправленных» валютных пар пойдут в разные стороны, и наоборот. В связи с этим рейтинговые соотношения пар подлежат непрерывной или периодической переоценке.

5. Варианты селекции пар валютных инструментов. Различные торговые стратегии нуждаются в различных характеристических свойствах наблюдаемых процессов. Основная идея формирования линейных форм (1), выполняющих роль комбинированных финансовых инструментов, состоит в получении результирующего процесса с относительно устойчивым набором таких свойств. Разных варианты комбинаций z характеризуются различными статистическими свойствами, определяемыми соответствующими критериями селекции пар валютных инструментов. Совокупность 25 возможных критериев селекции и пары валютных инструментов, в наибольшей степени отвечающие выбранным критериям селекции, приведены в табл. 3.

Селекция пар осуществлялась, как и прежде, по результатам наблюдения за динамикой котировок 16 валютных инструментов в течение 100 рабочих дней.

Рассмотрим подробнее представленные критерии.

Критерии 1 и 2 исследованы в разделе 4, их применение ориентировано на торговые стратегии, не использующие ограничения типа SL и, следовательно, остро нуждающиеся в уменьшении общего размаха траектории изменений $z(t)$. Однако эту же задачу можно решить путем прямого сравнения различных метрик рассеяния для всех возможных пар инструментов на выбранном интервале наблюдения. В этом случае можно использовать критерий 13 минимума размаха $R(z) = \min$, критерий 4 минимума *среднеквадратического отклонения* (СКО) $\text{std}(z) = \min$ или критерий 12 максимума абсолютных значений $\max |z| = \min$.

Критерий 4 более объективен, так как размах не имеет усреднения и может быть сильно искажен какой-то отдельной аномалией. Однако именно размах определяет максимальную просадку во время проведения торговой операции.

Критерий 12 не столь однозначен, он несет информацию относительно односторонних отклонений, но лишь для центрированного процесса $z(t)$, колеблющегося вокруг среднего значения. В противном случае он просто совпадает с критерием 13.

При использовании торговых стратегий, ориентированных на гипотезу о случайной динамике $z(t)$ со слабо выраженными трендами целесообразно подбирать пары инструментов с минимальной корреляцией $|\text{corr}(x_i, x_j)| = \min$, отвечающие критерию 3.

**Таблица 3. Варианты селекции
пар валютных инструментов**

Но- мер	Критерий селекции	Наилучшая пара
1.	$r = \text{corr}(x_i, x_j) = \max$	8/12, 2/12, 8/10, 10/12, 2/8
2.	$r = \text{corr}(x_i, x_j) = \min$	8/15, 2/15, 12/15, 10/15, 14/15
3.	$ r = \min$	1/15, 4/6, 1/10, 7/14, 6/12
4.	$\text{std}(z) = \min$	3/6, 1/3, 4/7, 4/13, 7/9
5.	$\text{std}(z) = \max$	10/15, 2/15, 12/15, 5/10, 2/11
6.	$\text{std}(z) = \min \ \& \ r > r^*$	1/3, 4/7, 4/13, 7/9, 2/12
7.	$\text{std}(z) = \min \ \& \ r < -r^*$	1/7, 14/15, 7/11, 4/15, 1/9
8.	$\text{std}(z) = \max \ \& \ r > r^*$	4/10, 10/13, 10/14, 2/13, 2/4
9.	$\text{std}(z) = \max \ \& \ r < -r^*$	10/15, 2/15, 12/15, 5/9, 8/15
10.	$\text{std}(z) = \min \ \& \ r < r^*$	3/6, 3/16, 3/13, 13/16, 6/16
11.	$\text{std}(z) = \max \ \& \ r < r^*$	5/10, 2/11, 10/11, 1/10, 11/12
12.	$\max z = \min$	13/14, 3/6, 3/14, 3/13, 1/3
13.	$R(z) = \min$	3/14, 1/3, 4/8, 4/7, 13/14
14.	$R(z) = \max$	10/15, 10/11, 1/10, 5/9, 2/15
15.	$ \text{trend}(z) = \min$	13/14, 1/3, 7/9, 10/12, 1/9
16.	$R(z) = \min \ \& \ \text{trend}(z) < \text{trend}^*$	1/3, 4/8, 13/14, 3/6, 2/12
17.	$ \text{trend}(z) = \min \ \& \ R(z) < R^*$	13/14, 1/3, 7/9, 10/12, 4/13
18.	$\text{std}(dz_S) = \min$	13/15, 4/7, 7/8, 4/16, 12/16
19.	$\max dz_S = \min$	13/15, 4/7, 12/16, 7/8, 2/8
20.	$\text{mean} dz_S = \min$	4/16, 3/14, 7/8, 4/8, 8/12
21.	$R(dz_S) = \min$	13/15, 4/7, 12/16, 4/16, 7/8
22.	$R(dz_S) = \min \ \& \ \text{trend}(z) < \text{trend}^*$	1/3, 13/14, 7/16, 3/6, 2/12
23.	$ \text{trend}(z) = \min \ \& \ R(dz_S) < R_S^*$	13/14, 1/3, 4/14, 4/13, 3/6
24.	$Nc(z, z_S) = \max \ \& \ \text{trend}(z) < tr^*$	3/7, 1/9, 11/16, 7/13, 10/12
25.	$Nc(z, z_S) = \max \ \& \ R(dz_S) < R_S^*$	11/15, 1/11, 11/13, 13/14, 14/16

В ряде случаев, когда участники торгов рассчитывают получить больший выигрыш и готовы идти на больший риск, выбираются пары, обеспечивающие максимальную волатильность процесса $z(t)$. В этом случае используют критерий 5 максимального СКО $\text{std}(z) = \max$ или критерий 14 максимального размаха $R(z) = \max$.

В некоторых ситуациях можно использовать критерии с ограничениями, в которых ищется экстремум показателя не для всех сочетаний финансовых инструментов, а лишь для множества пар, удовлетворяющих определенному ограничению. Например, критерии 6—11 позволяют сформировать множество пар, для которых СКО принимает наибольшие или наименьшие значения $\text{std}(z) = \text{ext}$ при различных видах ограничений, накладываемых на взаимный коэффициент корреляции.

С одной стороны, критерии, основанные на размахе, инвариантны относительно смещения. То есть при том же размахе реальное отклонение $z(t)$ от своего значения в начале интервала наблюдения может быть очень большим. С другой, СКО $\text{std}(z)$ интегрирует в себе смещение $z(t)$ относительно условного среднего и его случайный разброс, что не позволяет выявить причины вариабельности и, как следствие, выбрать оптимальную торговую стратегию. В связи с этим большой интерес представляют критерии 15—17, учитывающие линейный тренд $z(t)$, под которым здесь понимается оценка наклона линейной аппроксимации $\hat{z}(t)$ на участке наблюдения. Аппроксимация осуществляется на основе традиционного *метода наименьших квадратов* (МНК). Критерий 15 $|\text{trend}(z)| = \min$ мало убедителен, так как не учитывает размаха колебаний $z(t)$.

Более эффективны сложный критерий 16 $R(z) = \min$ при условии $\&|\text{trend}(z)| < \text{trend}^*$ или обратный к нему критерий 17 $|\text{trend}(z)| = \min$ при условии $R(z) < R^*$.

Заметим, что применение сложных критериев связано с необходимостью формирования критических значений в ограничительных частях соответствующих критериев. Излишне жесткие ограничения могут привести к потере области минимальных значений для экстремальной части критерия, а слишком свободные ограничения — к низкой эффективности по показателю, характеризующему ограничительную часть. Для эмпирического выбора критического значения удобно использовать гистограммы распределений соответствующих показате-

лей (рис. 9 и 10), позволяющие визуально оценить процентные соотношения и приблизительное число используемых пар инструментов. В частности, при селекции пар по критериям 16 и 17 выбирались критические значения, соответственно, $trend^* = 0.01$ и $R^* = 1000$.

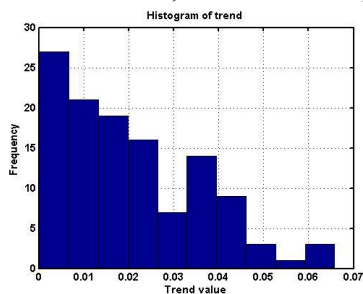


Рис. 9. Гистограмма распределения значений тренда $trend[z(t)]$.

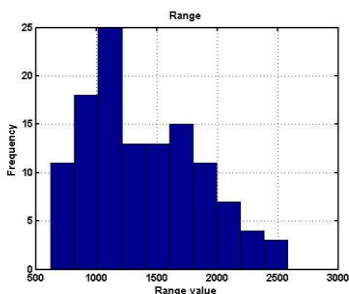


Рис. 10. Гистограмма распределения значений размаха $range[z(t)]$.

При использовании различных стратегий, основанных на осцилляторах, в качестве базовой траектории, используемой в критериях селекции, удобно использовать разницу между текущими значениями котировок и их сглаженных оценок $dz_S(t) = z(t) - z_S(t)$. Механизм сглаживания не принципиален, используя параметры сглаживания, можно получить близкие результаты для различных вариантов сглаживающих фильтров. В связи с этим будем использовать простейший в вычислительном отношении экспоненциальный фильтр (3). Соответствующие критерии селекции 18–23 связаны с использованием $dz_S(t)$.

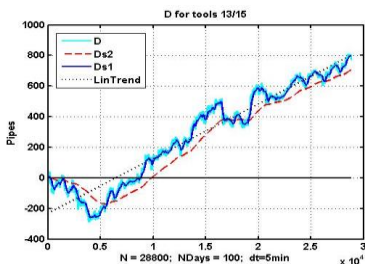


Рис. 11. Траектория $z(t)$, ее сглаженные версии и линейный тренд для пары 116 (наилучшей по критерию 18).

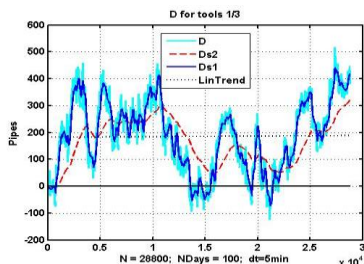


Рис. 12. Траектория $z(t)$, ее сглаженные версии и линейный тренд для пары 2 (наилучшей по критерию 22).

На рис. 11 приведены траектория $D(t) = z(t)$ (тональная сильно флуктуирующая линия), слабо сглаженная версия $Ds1 = z_{s1}(t)$ (с $\alpha = 0,01$), предназначенная для снижения уровня флуктуаций, сильно сглаженная версия $Ds2 = z_{s2}(t)$ (с $\alpha = 0,0005$), предназначенная для имитации усредненной динамики (штриховая линия) и общий линейный тренд *LinTrend* на интервале наблюдения (пунктирная линия).

Приведенный пример рассчитан для пары $c116 = (13/15)$ обеспечивающей наилучший результат по критерию $18 \text{ std}(dz_S) = \min$, т. е. обеспечивающий минимальное значение СКО $dz_S(t)$ относительно $z_{s2}(t)$. Аналогичные результаты позволяют получить критерии 19-21, основанные на выборе пар исходя, из условия минимизации максимума модуля, среднего или размаха $dz_S(t)$. Недостатком указанных подходов является потеря однозначности в направлении при использовании осциляторной стратегии. В частности, если траектория сглаженной котировки $z_{s1}(t)$ лежит выше $z_{s2}(t)$ и разворачивается вниз, то в соответствии с осциляторной концепцией следует открывать позицию вниз. При этом действительно можно ожидать движение $z(t)$ вниз относительно $z_{s2}(t)$. Однако в силу значительного положительного тренда самой опорной траектории $z_{s2}(t)$ реальное или абсолютное движение $z(t)$ может оказаться направленным вверх, что и приведет к проигрышу. В таких ситуациях эффективность селекции несколько больше при селекции на основе сложного критерия 22

$$R(dz_S) = \min \& | \text{trend}(z) | < \text{trend}^* ,$$

ограничивающего абсолютное значение тренда. Обратным по отношению к критерию 22 является критерий 23, минимизирующий абсолютное значение тренда $| \text{trend}(z) | = \min$ на множестве пар с ограниченным размахом $R(dz_S) < R_S^*$.

В качестве примера на рис. 12 приведена траектория изменения котировок для пары $c2 = (1/3)$, обеспечивающая наилучший результат на выбранном интервале наблюдения по критерию 22. Из приведенного графика видно, что при небольшом (для 100-суточного интервала) размахе менее 500 пунктов траектория имеет общий тренд, близкий к нулю. Если бы такая динамика сохранялась и на последующих интервалах, то выигрышная стратегия была бы достаточно очевидна. К сожалению, ожидать

устойчиво сохраняющихся свойств от хаотических процессов, характерных для валютных котировок, не приходится. Вопрос о скорости изменения статистических характеристик, важных для формирования управляющих решений, дополнительно рассмотрен ниже.

В заключение данного подраздела рассмотрим последнюю группу условных критериев 24–25, в которых волатильность оценивается не мерами рассеяния, а частотой пересечения $z(t)$ сглаженного значения, имитирующего динамику среднего с ограниченной памятью $z_{s2}(t)$. При этом выбираются пары с максимальной частотой таких пересечений $Nc(z, z_s) = \max$ при условии ограниченного тренда $|\text{trend}(z)| < \text{trend}^*$ (критерий 24) или ограниченного размаха $R(dz_s) < R_s^*$ (критерий 25).

На рис. 13 приведена траектория изменения котировок для пары $c33 = (3/7)$, обеспечивающая наилучший результат на выбранном интервале наблюдения по критерию 24.

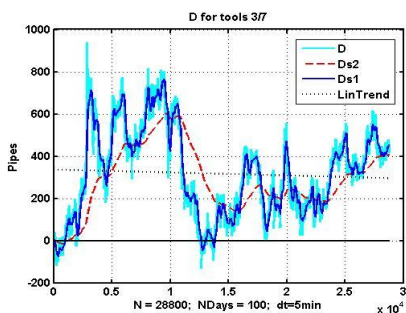


Рис. 13. Траектория $z(t)$, ее сглаженные версии и линейный тренд для пары 2 (наилучшей по критерию критерия 24)

Заметим, что траектория пары $c33$, как видно из последних графиков, сильно коррелирована с траекторией пары $c2$ из предыдущего примера. Этого следовало ожидать в силу содержательного подобия критериев селекции пар.

6. Анализ стабильности селекции по значению параметров критериев отбора. Возвращаясь к вопросу стабильности результатов селекции, рассмотрим изменение во времени параметров, используемых в качестве решающих статистик для некоторых из критериев, приведенных в табл. 3. В качестве примера рассмотрим динамику изменения рейтинга шести лидирующих пар валютных инструментов, отобранных по критерию 21 $R(dz_s) = \min$. На рис. 14 на оси ординат отложены номера шести наилучших по данному критерию пар, а по оси абсцисс — время наблюдения (10 сут.).

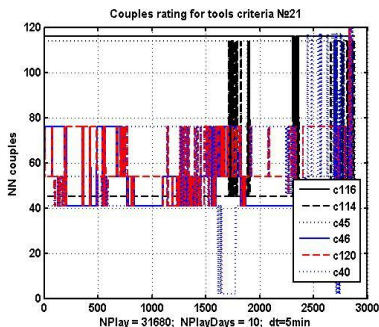


Рис. 14. Изменение рейтинга пар валютных инструментов за 10 сут наблюдений.

Оценка рейтинга осуществлялась каждые 5 минут по скользящему временному интервалу наблюдения в 100 сут.

Из приведенного графика видно, что за наблюдаемый период группа лидеров не претерпела существенных изменений, общее число пар инструментов попавших в первую шестерку равно семи и образует массив $\{c116 = 13/15, c114 = 12/16, c45 = 4/7, c46 = 4/8, c120 = 15/16, c40 = 3/14, c41 = 3/15\}$. Смена лидерства происходит нечасто, и основная группа сохраняет свои позиции по выбранному критерию. Разумеется, столь высокая стабильность связана с достаточно большим интервалом оценки решающей статистики. При уменьшении размера скользящего окна обучения изменения рейтинга будут более существенными.

Для подтверждения полученных выводов рассмотрим задачу изменения во времени параметра селекции по критерию 21 $R(dz_S) = \min$, представляющего собой размах процесса dz_S , образованного разностью между котировками линейной формы $z(t)$ и ее сглаженным значением $z_{s2}(t)$. Оценка размаха $R(dz_S)$ осуществлялась для 50 сут. наблюдений за котировками валютных инструментов, соответствующих трем наиболее эффективным по критерию 21 (для выше рассмотренного участка) парам $\{c116=13/15, c114=12/16, c45=4/7\}$. Оценка размаха осуществлялась на скользящем окне наблюдения размером также в 50 сут. Заметим, что применение скользящего окна делает функцию размаха немонотонной во времени. Соответствующие графики изменения размахов $R[dz_S(t)]$ представлены на рис. 15. Из приведенных графиков видно, что сформулированные выше утверждения об относительной стабильности рейтинга пар $z(t)$ для

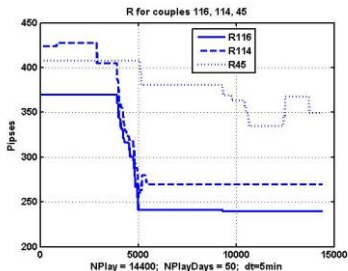


Рис. 15. Размах относительно сглаженного среднего для трех пар $c116 = 13/15, c114 = 12/16, c45 = 4/7$ валютных инструментов для 50 сут наблюдения.

данного случая подтверждается. Полученные вывод создает предпосылку для создания адаптивных стратегий, включающих в себя подсистему последовательного выбора наиболее перспективных комбинированных инструментов.

6. Заключение. Основной вывод из настоящей работы состоит в принципиальной возможности формирования комбинированных финансовых инструментов (типа валютного портфеля), позволяющих получить интегральные статистические свойства, способствующие эффективному применению известных торговых стратегий. Исходя из принципа *sapienti sat*, в статье не рассматривался подробно вопрос соответствия критериев селекции валютных пар торговым стратегиям игры на валютной бирже.

Приведенные исследования ограничены простейшей схемой, для которой комбинированные инструменты формировались в виде бинарной линейной формы с единичными коэффициентами. Применение весовых коэффициентов позволяет усилить позитивные свойства комбинированных инструментов. Однако в силу наличия хаотической составляющей в динамике котировок [3], гарантировать устойчивую сохранность желательных свойств достаточно сложно. Использование скользящего окна наблюдения позволяет обнаруживать указанные разладки. При этом следует помнить о принципиальном диалектическом противоречии, сохраняющим неустранимую неопределенность при формировании управляющих решений: уменьшение окна наблюдения повышает оперативность идентификации разладок, но одновременно снижает качество статистического оценивает и повышает вероятность статистических ошибок второго рода («ложных тревог»).

Литература

1. Халл Дж. К. Опционы, фьючерсы и другие производные финансовые инструменты. М.: Вильямс, 2007. 1056 с.
2. Долан Э. Дж., Кэмпбелл К.Д., Кэмпбелл Р. Дж. Деньги, банковское дело и денежно-кредитная политика. М.: Туран, 1996. 448с.
3. Мусаев А.А. Quod est veritas. Трансформация взглядов на системную составляющую наблюдаемого процесса // Труды СПИИРАН. 2010. Вып. 15. С. 53–74.

Мусаев Александр Азерович — д-р техн. наук, профессор; ведущий научный сотрудник научно-исследовательской группы информационных технологий в образовании Учреждения Российской академии наук Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН), научный консультант ОАО «Специализированная инжиниринговая компания «Севзапмонтажавтоматика». Область научных интересов: анализ данных, управление и прогнозирование в сложных динамических системах, стохастические хаотические системы. Число научных публикаций — 188. amu-

saev@szma.com, www.szma.com; СПИИРАН, 14-я линия В.О., д. 39, Санкт-Петербург, 199178, РФ; р.т. +7(812)350-5885, факс +7 (812)350-1113.

Musaev Alexander Azerovich — Dr. in Appl. Math., professor; leading researcher, Education Information Technology Group, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS), expert, public corporation Specialized engineering company «Sevzapmontageautomatica». Research interests: data analysis, complicated dynamic systems prognosis and control, stochastic chaos systems. The number of publications — 188. amusaev@szma.com, www.szma.com; SPIIRAS, 39, 14th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812)350-5885, fax +7(812)350-1113.

Рекомендовано ИГИТО СПИИРАН, рук. канд. техн. наук, доц. А.В. Тишков.
Статья поступила в редакцию 2.03.2011.

РЕФЕРАТ

Мусаев А.А. **Статистические свойства линейных форм валютных инструментов.**

Характерной особенностью динамики котировок валютных инструментов является непрерывное изменение ее статистических свойств, что не позволяет построить эффективную торговую стратегию. С математической точки зрения генезис существенной нестационарности траекторий котировок состоит в наличии хаотической компоненты, представленной колебательным непериодическим процессом с большим числом краткосрочных аномальных отклонений. В этих условиях любые статистические методы прогнозирования и основанные на них торговые решения оказываются неэффективными.

Одним из известных способов снижения торговых рисков состоит в одновременном использовании группы финансовых инструментов, имеющих тенденцию к статистической разнонаправленности. При этом достигается эффект «страхования» потерь, что одновременно снижает и торговый риск, и получаемую прибыль. К сожалению, такой портфель валютных инструментов в условиях хаотических процессов также не может быть стационарным. При определенных взаимодействиях внешних факторов финансовые инструменты могут сменить свою статистическую ориентацию и результирующие свойства портфеля изменятся на противоположные. Тем не менее процесс изменения статистических свойств линейной формы с правильно подобранными составляющими, как правило, является более инерционным, чем у отдельных инструментов, что создает предпосылку для создания адаптивных или самоорганизующихся торговых роботов с непрерывным статистическим анализом вероятностной структуры торговой ситуации.

Для подтверждения высказанных предположений в настоящей статье проведен численный анализ статистических свойств бинарных линейных форм котировок валютных инструментов. Упрощенная бинарная форма валютного портфеля позволяет наглядно продемонстрировать его результирующие статистические свойства. Технология формирования линейной формы определяется выбором торговых стратегий и основаны на критериях селекции финансовых инструментов. В работе приведены варианты построения бинарных линейных форм для 25 критериев селекции. Особое внимание уделяется бинарной разностной схеме, когда портфель состоит из двух сильно коррелированных инструментов. При этом открытие позиций осуществляется одновременно в различных направлениях. В качестве параметров критериев селекции использовались такие статистические характеристики линейной формы, как ее размах, среднеквадратическое отклонение (СКО), вариабельность относительно скользящего среднего, среднее значение тренда на предшествующем интервале наблюдения, число пересечений линии скользящего среднего и др.

На различных числовых примерах подтверждена относительная стабильность требуемых вероятностных свойств бинарного валютного портфеля.

SUMMARY

Musaev A.A. Statistical properties of currency tools quotations linear forms.

Prominent feature of dynamics of quotations of currency tools is continuous change of its statistical properties that doesn't allow to contrive effective trading strategy. From the mathematical point of view essential nonstationary of quotations data is caused by the presence of chaotic components, presented by oscillatory noncyclic process with a great number of short-term anomalous deviations. In these conditions any statistical methods of data treatment, forecasting and trading decisions design turned out to be inefficient.

One of known ways of trading risks decrease consists in simultaneous use of financial tools group tending to statistical differently directions. It is thus reached effect losses «insurance» that simultaneously reduces also trading risk and profit. Unfortunately, such securities portfolio of currency tools in the conditions of chaotic processes also can't be stationary. At certain external factors interactions financial tools can replace the statistical orientation and resulting portfolio properties will change on the opposite. Nevertheless, process of portfolio statistical properties evolution, as a rule, is more inertial, than at separate tools. That creates the precondition for creation adaptive or self-organizing trading robots with continuous statistical analysis of trading situation probability structure.

For confirmation of the stated assumptions the numerical analysis of currency tools quotations binary linear forms statistical properties is carried out in the present article. The simplified binary form of a currency portfolio allows to show its resultant statistical properties visually. Technology of portfolio formation is defined by a choice of trading strategy and is based on financial tools selection criteria. In work 25 variants binary linear forms selection criteria construction are resulted. The special attention is given to binary difference scheme when the portfolio consists of two strongly correlated currency tools. Thus positions opening is carried out simultaneously in different directions. As selection criteria parameters were used such statistical characteristics of the linear form, as its range of deviation, standard deviation, variability concerning a sliding average, average value of a trend on a previous observation interval, number of crossings of sliding average line, etc.

On various numerical examples it is confirmed relative stability demanded probability properties of a binary currency portfolio.