

*Гізатулін А. М.*

*Донецький національний технічний університет*

*ЗАСТОСУВАННЯ НЕЛІНІЙНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ  
ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА МІЖНАРОДНИХ ВАЛЮТНИХ БІРЖАХ*

*Експериментально доведено доцільність застосування нелінійної фільтрації замість традиційних методів лінійної фільтрації при утворенні правил появи сигналів на покупку або продаж валюти в системах підтримки й прийняття рішень.*

*The expediency of application of a nonlinear filtration instead of traditional methods of a linear filtration is experimentally confirmed at creation of rules of occurrence of trade signals in systems of support and acceptance of the decisions.*

Європейський союз і США визнали, що Україна стала державою з ринковою економікою [1]. В світі останніх подій особливої актуальності набуває участь України в міжнародній торгівлі. Для того, щоб торгівля на різноманітних валютних біржах була ефективною, тобто приносила достатні прибутки за умов мінімального ризику, необхідно розробляти відповідні торговельні інструменти.

Розробкою та дослідженням інструментів для здійснення ефективної торгівлі на валютних ринках займаються тисячі вчених у всьому світі. Це, зокрема, В. Н. Амітан, Я. Г. Берсуцький, А. В. Буздалін, О. О. Єжов, В. Я. Заруба, Ю. Г. Лисенко, В. В. Хрестіановський, А. В. Смірнов, А. М. Ширяєв, G. M. Zaslavsky, R. Sagdeev, D. Usikov, A. Chernikov, Y.-W. Cheung, E. Peters, B. M. Williams, C. A. Kase та інші.

Зокрема, вивчення нелінійного характеру розвитку валютних ринків займаються відомі американські трейдери доктор філософії Б. М. Віл'ямс і Cynthia A. Kase [2, 3]. Але вони не враховують тип нелінійності при зміні валютних курсів і, як наслідок, не враховують апостеріорну інформації для підвищення прибутковості торговельних сигналів і зниження ризиків від торгівлі у системі валютних ринків.

Ціллю статті є показати ефективність застосування нелінійної фільтрації при прийнятті рішень про купівлю або продаж валюти на

біржових та позабіржових валютних ринках.

Для досягнення поставленої цілі необхідно вирішити ряд задач:

- довести, що динаміка крос-курсів на валютних ринках дійсно має нелінійний характер;
- визначити співвідношення лінійних і нелінійних трендів на графіках крос-курсів валют;
- дослідити вплив нелінійної фільтрації на ефективність прийняття рішень щодо торгівлі валютою на біржі.

Роботи М. Кендала у 1953 році поклали початок теорії ефективного ринку, основною гіпотезою якої є те, що ринок раціонально реагує на оновлення інформації [4].

Концепція ефективного ринку зіграла і продовжує відігравати домінуючу роль і в фінансовій теорії, і в фінансовому бізнесі. Але вже в 60-х роках ХХ століття Б. Мандельброт помітив статистичні закономірності на фінансових ринках, які не можна було пояснити за допомогою теорії ефективного ринку. З цього часу було покладено початок теорії фрактального ринку [5].

В контексті фрактального аналізу фінансових ринків Е. Петерс особливо підкреслює різницю в ціноутворенні на валютних ринках і ринках цінних паперів. Коли трейдери купують та продають валюту, вони не реалізують інвестиційний дохід безпосередньо на валюті. Замість цього, валюта купується та продається, щоб вкласти капітал в цінні папери з короткостроковою відсотковою ставкою в обраній країні. „Вартість” валюти не обов’язково зв’язана з діяльністю в економіці країни. Валюта пов’язана з відносним рухом відсоткової ставки в двох країнах. Крім того, самі ринки регулюються відповідними правительствами по причинам, які не можна вважати „раціональними” з точки зору ефективного ринку. Наприклад, якщо країна хоче стимулювати експорт, вона дозволить падіння своєї валюти. З іншого боку, якщо вона хоче підтримати імпорт і зменшити своє активне сальдо торгового балансу, вона захоче підвищити курс своєї валюти. Обидві цілі можуть бути бажаними, незалежно від того, знаходиться країна в стані

кризи чи в стані економічного росту [6].

Існує два способи, за допомогою яких центральний банк може керувати валютою. По-перше, він може змінити відсоткові ставки, що робить державні цінні папери більш або менш привабливими для іноземних інвесторів. Оскільки ця альтернатива може вплинути на загальний економічний ріст країни, вона зазвичай використовується в крайньому випадку, навіть не зважаючи на те, що вона має самий довготривалий ефект.

Другий метод є більш прямим і зазвичай застосовується, коли валюта досягла бажаного рівня. Центральні банки зазвичай продають або купують валюту в великих кількостях, щоб керувати вартістю валюти. Інколи самим крупним трейдером на валютному ринку може бути центральний банк, який не ставить собі за ціль максимізацію прибутків.

Внаслідок цих двох факторів валютні ринки відрізняються від інших торгових ринків. Наприклад, валютний ринок насправді не є „ринком капіталу”, тому що ціллю торгівлі валютою є не збільшення капіталу, а в створенні здібності торгувати акціями та облигаціями, які є реальними ринками для збільшення капіталу. Валюта являє собою „чисті” вторинні ринки, тому що вони дійсно є грою з нульовою сумою. На фондовій біржі вартість активів змінюється разом з економікою. Відсоткові ставки також змінюються тільки в зворотній залежності від економіки. Обидва взаємозв'язки надзвичайно стійкі. Проте валюта не має стійких зв'язків з економікою. Існуючи, як чистий вторинний ринок, валюта більш схильна слідувати за дивинами та модою, тобто еволюція валютного курсу є чистим фрактальним процесом.

Гіпотеза фрактального фінансового ринку полягає у наступному [6, С. 57-58].

1. Ринок є стабільним, коли він складається з інвесторів, що охоплюють велику кількість інвестиційних горизонтів. Це гарантує достатню ліквідність для трейдерів.

2. Інформаційна множина більшою мірою зв'язана з настроєм ринку і технічними факторами в короткостроковій перспективі, ніж у більш

довгостроковій перспективі. При збільшенні інвестиційного горизонту домінуючу роль починає грати довгострокова фундаментальна інформація. Таким чином, зміни цін або курсів можуть відображати інформацію, що є важливою тільки для цього інвестиційного горизонту.

3. Якщо відбувається подія, що ставить під сумнів достовірність фундаментальної інформації, довгострокові інвестори або припиняють свою участь на ринку, або починають торгувати на підставі короткострокової інформаційної множини. Коли загальний інвестиційний горизонт ринку скорочується до однорідного рівня, ринок стає нестабільним. Не має довгострокових інвесторів, щоб стабілізувати ринок, пропонуючи ліквідність короткостроковим інвесторам.

4. Курси відображають поєднання короткострокової технічної торгівлі і довгострокової фундаментальної оцінки. Таким чином, вірогідно, що короткострокові зміни курсів будуть більш волатильними чи більш „шумними”, ніж довгострокові. Основна тенденція на ринку відображає зміни в очікуваному доході на підставі економічного середовища, що постійно змінюється. Короткострокові тенденції є результатом поведінки юрби. Не існує причин, що обумовлюють зв'язок між довжиною короткострокових тенденцій і довгостроковою економічною тенденцією.

5. Якщо цінний папір ні яким чином не зв'язан з економічним циклом, то довгострокова тенденція буде відсутня. Будуть домінувати торгівля цінними паперами, ліквідність і короткострокова інформація.

Зокрема, російський дослідник поведінки валютних курсів В. Ігнаточкин експериментально довів, що спектральна щільність потужності курсів таких валют, як британський фунт, швейцарський франк, японська ена та євро, пропорційна до величини  $f^{-1.618}$ , де  $f$  – це частота в спектрі валютного курсу. Згідно з термінологією Б. Мандельброта, процеси спектр яких пропорційний до величини  $f^{-\alpha}$ , де  $0 < \alpha < 2$ , називається фрактальним броунівським процесом [7].

Фінансові ринки за своєю природою мають нелінійну динаміку. Тому неабиякий інтерес представляють собою наступні питання: які саме типи

нелінійності зустрічаються частіше, яке співвідношення лінійних і нелінійних типів трендів існує на фінансових ринках.

Для відповіді на поставлені запитання була розроблена спеціальна методика, що полягає у наступному.

В результаті постійного впливу великої кількості різноманітних факторів на динаміку руху цін фінансових інструментів цей рух постійно змінює свою швидкість і своє прискорення, тобто на одному інтервалі часу закон формування тренду один, а на іншому вже інший. Тобто з часом змінюється структура та закони формування трендів на фінансових ринках. Це не дозволяє зробити припущення щодо характеру тренду на всьому проміжку часу і тому не можливо визначити тип нелінійності всього вихідного ряду цін. Але існує можливість зробити припущення щодо закону формування тренду в деякій околиці кожної точки цінового графіку. Завдяки цій можливості можна визначити співвідношення лінійних і нелінійних трендів на фінансових ринках, а також визначити, які типи нелінійності привалюють на фінансових ринках, і чи залежить прибутковість біржової торгівлі на певному фінансовому ринку від типу нелінійності.

Ціну як функцію часу можна описати на будь якому відрізку часу поліномом високого ступеня. Проте, реалізація поліномів вище другого ступеня у більшості випадків є неефективною, оскільки їх використання призводить до зміни характеру тренду. У цьому випадку вчені радять застосовувати нелінійні функції відносно параметрів моделі тренду. Шляхом реалізації різного типу перетворень такі функції зводяться до лінійного вигляду відносно параметрів.

Для аналізу нелінійності трендів на фінансових ринках було розроблено набір із шістнадцяти двопараметричних функцій. Вибір саме цих функцій забезпечується простотою їх аналітичних виразів, малою кількістю параметрів, придатністю до диференціювання по невідомим параметрах, наявністю в багатьох стандартних статистичних пакетах, а також можливістю використання мінімальної величини ковзних часових вікон.

Припустивши, що довжина тренду  $m$  складає 5, 21 і 51 день, можна

проаналізувати статистику нелінійності за такою схемою.

Якщо довжина тренду складає 5 днів, то беремо значення цін або курсів за перші 5 днів і підбираємо шляхом повного перебору  $j$ -ю функцію, яка є найбільш ефективною за критерієм мінімуму залишкової дисперсії

$$\sigma_{ocm.j}^2 [8]$$

$$\sigma_{ocm.j}^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (y_i - \hat{y}_{ij})^2}{m - k}, \quad j = 1, \dots, 16,$$

де  $y_i$  – ціна закриття  $i$ -ого бару;

$\hat{y}_{ij}$  – значення  $j$ -го виду залежності на  $i$ -му барі;

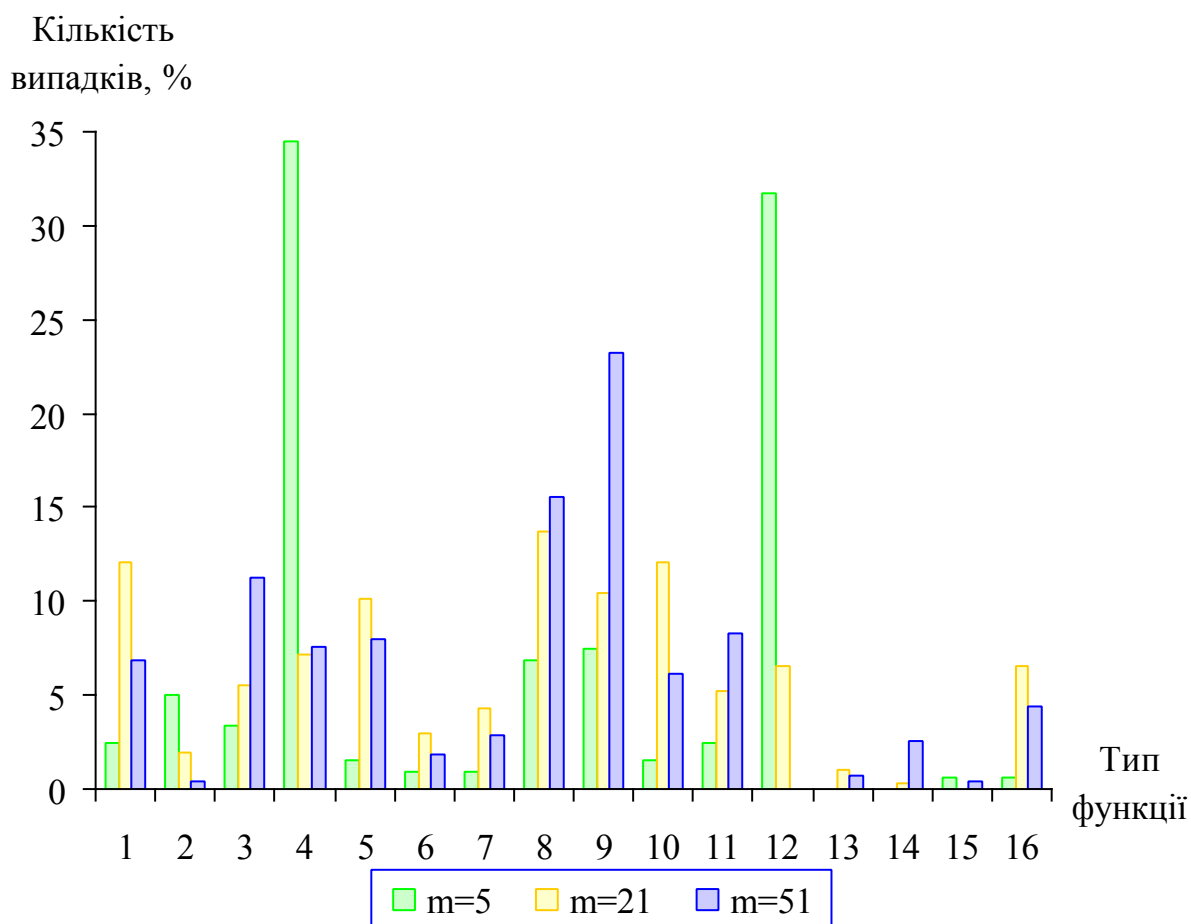
$m$  – довжина ковзного часового вікна;

$k$  – кількість параметрів, що має залежність.

Потім беремо значення цін або курсів за 5 днів з другого дня по шостий, з третього по сьомий і так до кінця ряду та повторюємо кожного разу процедуру підбору найкращої функції, кожного разу запам'ятовуючи номер функції.

Аналогічні процедури проводяться також для інших значень довжини тренду. Таким чином, для кожного значення довжини тренду  $m$  можна отримати об'єм статистики нелінійності, що буде дорівнювати  $(N - m + 1)$ , де  $N$  – довжина вихідного ряду.

Так, для ринку валютної пари євро-долар виявилось, що серед короткострокових трендів довжиною у 5 днів лінійні тренди з'являються у 3% випадків, а у 97% випадків з'являються нелінійні тренди. Для середньострокового тренду довжиною у 21 день розрахунки показують, що лінійні тренди з'являються у 12% випадків, а у 88% випадків з'являються нелінійні тренди. Схожу поведінку можна спостерігати також і для довгострокових трендів довжиною у 51 день, де лінійні тренди з'являються у 7% випадків, а нелінійні тренди – у 93% випадків (рис. 1).



**Рис. 1. Поява різних типів нелінійних функцій в залежності від довжини тренду на ринку валютної пари євро-долар**

Якщо подивитись на рис. 1, на перший погляд здається, що на графіку присутні всі типи нелінійностей, що брались до уваги при дослідженні. Але насправді це не так. Поява такої великої кількості нелінійностей на одному графіку пояснюється недостатньо ефективним алгоритмом розпізнавання образів трендів. Але це не заважає зробити висновок, що на графіках крос-курсів валют превалюють нелінійні тренди.

З наведених розрахунків стає зрозуміло, що динаміка валютних курсів має суттєво нелінійний характер. Традиційно при побудові торговельних систем використовують неоптимальні лінійні фільтри на зразок простого чи зваженого ковзного середнього або експоненціальні середні. Застосування лінійних фільтрів до нелінійних валютних графіків призводить до ефекту

зміщення.

Поява цього ефекту при торгівлі валютою призводить до грошових втрат двох видів. Перший вид втрат пов'язаний з тим, що зміщення тренду відносно цінового валютного графіку призводить до запізнення при вході на фінансовий ринок, через що інвестор має втрачені прибутки. Другий різновид втрат є аналогічним першому тільки пов'язаний із втратою прибутків за рахунок запізнення на виході з фінансового ринку, тобто інвестор не встигає продати валюту за найбільш сприятливу ціну і продає з запізненням, коли ціна впала.

Щоб підвищити прибутковість торгівлі на валютних ринках за рахунок використання апріорної інформації щодо нелінійності трендів і зменшення ефекту зміщення в процесі фільтрування вихідного ряду валютних курсів, було розроблено новий метод нелінійної неоптимальної цифрової фільтрації.

Суть запропонованого методу ковзної авторегресії, адаптивної до типу рівняння тренду, що виділяється, полягає в тому, що на кожному інтервалі усереднення за відомими курсами валют методом найменших квадратів обчислюють невідомі параметри набору рівнянь авторегресії різних типів. Для кожного з рівнянь авторегресії розраховується коефіцієнт автокореляції третього порядку. Далі вибирається рівняння з найменшою автокореляцією залишків. За допомогою цього рівняння обчислюється умовне математичне очікування. Процес повторюється, як і у випадку ковзних середніх [9, С. 98].

Запропонований метод було апробовано на валютній парі євро-єна за період з 12 березня 2002 р. до 21 березня 2002 р. на торговельній платформі Omega Research Trade Station 2000i.

Для виявлення переваг і недоліків запропонованого підходу було зроблено порівняльний аналіз технічних та економічних характеристик двох торгових систем: стандартної торгової системи на основі перетину двох ковзних середніх і нової торгової системи, сигнали на покупку валюти в якій побудовані за допомогою нелінійної фільтрації на основі методу ковзної авторегресії, адаптивної до типу рівняння тренду, що виділяється. Алгоритми виходу в обох торговельних системах однакові. Час дискретизації 5 хвилин.



Сигнали входу та виходу оптимізувалися шляхом повного перебору.

Виявилося, що порівняно з класичною торговельною системою на основі перетину двох ковзних середніх [10-12] система на основі методу ковзної авторегресії дозволила підвищити прибуток на 14% за рахунок зменшення ефекту зміщення, та на 17% за рахунок використання апріорної інформації щодо нелінійності трендів і одночасного зменшення ефекту зміщення.

З технічної точки зору покращалась тільки одна характеристика – прямокутне ковзне вікно „повільної” ковзної середньої в новій системі зменшилось на 1 бар. Це означає, що нова система може видати торговий сигнал раніше ніж стандартна.

За результатами проведених досліджень можна зробити наступні висновки.

1. Динаміка крос-курсів валют є фрактальним процесом і відповідно має нелінійний характер.

2. Розроблено методику, що дозволила оцінити співвідношення лінійних і нелінійних трендів на валютних графіках. Виявилося, що біля 90% трендів, що зустрічаються на графіку крос-курсу є нелійними. Цей факт застерігає від „сліпого” використання лінійних фільтрів при будівництві торговельних систем.

3. Застосування нелінійного неоптимального цифрового фільтру на основі методу ковзної авторегресії, адаптивної до типу рівняння тренду, що виділяється, для побудови торговельної системи дало непогані результати. Порівняно з класичною торговельною системою на основі перетину двох ковзних середніх система на основі методу ковзної авторегресії дозволила підвищити прибуток на 14% за рахунок зменшення ефекту зміщення, та на 17% за рахунок використання апріорної інформації щодо нелінійності трендів і одночасного зменшення ефекту зміщення.

### **Література:**

1. Інформаційне агентство УНІАН. <http://www.unian.net>.

2. Вильямс Б. Новые измерения в биржевой торговле; как извлечь прибыль из хаоса: рынки акций, облигаций и фьючерсов. – М.: ИК Аналитика, 2000. – 288 с.

3. Cynthia A. Kase. Trading with the odds: using the power of probability to profit in the futures market. – New York: Wiley, 1996. – 456 p.

4. Ширяев А. Н. Основы стохастической финансовой математики. Том 1. Факты. Модели.: В 2 т. – М.: Фазис, 1998. – 512 с.

5. Мандельброт Б. Фракталы, случай и финансы. 1959-1997. – М.: Институт компьютерных исследований, 2004. – 256 с.

6. Петерс Э. Фрактальный анализ финансовых рынков: применение теории хаоса в инвестициях и экономике: Пер. с англ. – М.: Интернет-трейдинг, 2004. – 304 с.

7. Игнаточкин В. Спектральный анализ валютных курсов или еще раз о фракталах // Валютный спекулянт, - 2000, №8.

8. Гизатулин А. М. Сравнительный анализ алгоритмов распознавания случайных образов // Материалы XXX Юбилейной международной конференции и I Международной конференции молодых ученых «Информационные технологии в социологии, экономике, образовании и бизнесе». – Запорожье: ЗГУ, 2003. – С. 47 - 48.

9. Смирнов А. В., Гизатулин А. М. Скользящая авторегрессия, адаптивная к типу уравнения выделяемого тренда // Економіка: проблеми теорії та практики: Зб. наук. пр. Випуск 175. – Дніпропетровськ: ДНУ, 2003. – 240 с.

10. Швагер Д. Технический анализ. Полный курс. – М.: Альпина Бизнес Бук, 2005. – 806 с.

11. Лиховидов В. Системы на основе скользящих средних // Валютный спекулянт. – 2004. – №6. – С. 34 - 39.

12. Лука Корнелиус. Применение технического анализа на мировом валютном рынке Forex. – М.: Евро, 2003. – 412 с.