

**Вступ.** Перша біржа на теренах України була відкрита у 1796 році в м. Одеса [1, С. 85]. З того часу український біржовий рух мав багато злетів і падінь. Сьогодні, коли ЄС та США визнали Україну державою з ринковою економікою, розвиток української біржової торгівлі набуває особливої актуальності. Для того, щоб торгівля на різноманітних біржах була ефективною, тобто приносила достатні прибутки за умов мінімального ризику, необхідно розробляти відповідні торговельні інструменти.

**Постановка завдання.** Ціллю статті є показати ефективність застосування нелінійної фільтрації на основі методу ковзної авторегресії, адаптивної до типу нелінійності тренду, що фільтрується, у порівнянні з класичними методами фільтрації цінних біржових графіків.

**Результати.** Ціни та курси на фінансових ринках змінюються таким чином, що на одному інтервалі часу спостерігається тенденція до зростання, на іншому інтервалі часу спостерігається тенденція до падіння, а часом можна помітити інтервали, на яких тенденція взагалі відсутня та спостерігається лише волатильність в межах „коридору” майже паралельного осі часу. Зрозуміло, що тенденцію цих змін неможливо подати простою функцією часу на всьому досліджуваному інтервалі. Але припущення, що тренд гладкий, а випадкові помилки, як правило, нерегулярні, дозволяє визначити тренд на кожному інтервалі за допомогою фільтрації вихідних даних.

Фільтрація полягає у перетворенні вихідного процесу у бажаному напрямку, а саме: до посилення або послаблення (заглушення або виділення) складових процесу.

Під цифровим фільтром в широкому сенсі розуміють будь яку систему, яка згідно з алгоритмом  $y(n) = \Gamma\{\tilde{x}(n)\}$  виконує вилучення цифрового сигналу  $x(n)$  або його параметрів із діючої на вході системи суміші  $\tilde{x}(n) = x(n) + \xi(n)$  сигналу з шумом. Коли досліджується лінійний процес, синтезується цифровий фільтр з лінійним алгоритмом  $y(n) = \Gamma_L\{\tilde{x}(n)\}$ , аналогічно, коли досліджується нелінійний процес, синтезується цифровий фільтр з нелінійним алгоритмом  $y(n) = \Gamma_N\{\tilde{x}(n)\}$  [2].

Зрозуміло, що сигнал  $y(n)$  на виході реального цифрового фільтру буде відповідати переданому сигналу або його параметрам з деякою точністю, що визначається як власно алгоритмом, так і властивостями самого фільтру. Інакше кажучи, на виході реального цифрового фільтру завжди має місце різного ступеня приближення  $y(n) \approx x(n)$ . У випадку вирішення різноманітних задач технічного аналізу біржових ринків в якості сигналу  $x(n)$  виступає певний тренд, а в якості шуму  $\xi(n)$  – випадкова компонента цінного біржового графіку.

Для дискретного процесу  $y(t)$  з постійним кроком дискретизації, коли  $y_t = y(t)$ , у загальному вигляді неоптимальний лінійний цифровий фільтр порядку  $n$  описується формулою

$$\bar{y}_t = \sum_{s=-n}^n c_s y_{t+s}, \quad t = n+1, n+2, \dots, T-n,$$

де  $\bar{y}_t$  – відфільтроване значення ціни або курсу на  $t$ -му інтервалі;

$c_s$  – ваги вихідних значень цін або курсів;

$y_{t+s}$  –  $(t+s)$ -те значення ціни або курсу на  $t$ -му інтервалі;

$T$  – проміжок часу, на якому відбувалося спостереження за цінами.

З точки зору статистики такий фільтр є згладжуючим. Згладження полягає у поданні тренду в точці  $t$  через зважене середнє значень цін або курсів, що спостерігаються навколо цієї точки. При цьому вважається, що значення цін або курсів, що спостерігаються, є сумою тренду та не ідентифікованих помилок. Тобто, зважене середнє тренду співпадає зі значенням самого тренду в даній точці, а зважене середнє випадкової помилки, що є сумою всіх не ідентифікованих помилок, має тенденцію ставати досить малою величиною близькою до нуля. Таким чином, зважене середнє спостерігаємих значень цін або курсів буде оцінювати тренд. Воно визначається для кожного моменту часу, за виключенням  $p$  перших і  $p$  останніх точок спостережень, і має такі властивості: сума ваг значень цін або курсів дорівнює одиниці, в загальному випадку ваги симетричні відносно середнього значення та напрям ковзання не впливає на процедуру згладжування. Після такої ітеративної процедури доволі нерегулярний графік спостережень замінюється гладким графіком ковзного середнього [3-5].

Зауважимо, що будь яке рівняння тренду, параметри якого оцінюють за допомогою методу найменших квадратів, завжди забезпечує рівняння  $\bar{y} = f(\bar{t})$ , де  $\bar{y}$  і  $\bar{t}$  – відповідно, середні значення залежної та незалежної змінних рівняння  $y = f(t)$ . Ця властивість методу найменших квадратів дозволяє для фільтрування лінійних трендів замість простого ковзного усереднення використовувати умовні математичні очікування ковзних авторегресій на одному і тому ж інтервалі усереднення. При цьому будуть отримані абсолютно ідентичні результати аналізу. Але в зв'язку зі складністю обчислювальних процедур цей метод не знайшов свого застосування. Проте у випадках, коли потрібно відфільтрувати суттєво нелінійні тренди часових рядів, ці два метода не є еквівалентними через те, що дають зовсім різні результати. Використання в цьому разі традиційного простого ковзного середнього призводить до значного ефекту зміщення, причиною якого є систематична похибка, що виникає внаслідок оцінки вагових коефіцієнтів фільтру поліномами нижчого порядку ніж є насправді.

Ще одним різновидом згладжуючого фільтру є експоненціальні середні. Експоненціальна середня в  $t$ -й момент часу має вигляд [6-8]

$$Q_t = \alpha y_t + (1-\alpha)Q_{t-1}, \quad t = 1, \dots, T,$$

де  $Q_t$  – експоненціальна середня в момент часу  $t$ ,  $Q_0 = y_1$ ,

$\alpha$  – коефіцієнт, що характеризує вагу спостереження в момент часу  $t$  при розрахунку експоненціальної середньої,  $0 \leq \alpha \leq 1$ .

Експоненціальні середні мають такі властивості, що математичне очікування вихідного ряду та експоненціальної середньої співпадають, а дисперсія експоненціальної середньої менше дисперсії вихідного ряду в  $\frac{\alpha}{2-\alpha}$  разів. Тобто при великому значенні  $\alpha$  дисперсія експоненціальної середньої несуттєво відрізняється від дисперсії вихідного ряду. Чим менше значення  $\alpha$ , тим кращі якості фільтру, що відповідають за поглинання коливань [9-10].

Усі наведені методи фільтрації мають свої недоліки. Проте найзначнішим з них є ефект зміщення, поява якого при біржовій торгівлі призводить до грошових втрат двох видів. Перший вид втрат пов'язаний з тим, що зміщення тренду відносно цінового 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 фінансові інструменти за найбільш сприятливу ціну і продає з запізненням, коли ціна впала.

Простежити ефект зміщення можна за допомогою рис. 1. Для прикладу було взято гіпотетичний ціновий графік із трендом  $y = 0.0001t$  і відфільтровано точки тренду, що відповідають малому часовому вікну в п'ять днів, середньому – в двадцять

один день і великому – в п'ятдесят один день. Для порівняльного аналізу фільтрувальних можливостей було взято чотири методи:

- просте ковзне середнє (МА);
- зважене ковзне середнє (WMA);
- експоненціальне ковзне середнє (ЕМА);
- умовне математичне очікування ковзної авторегресії (E(Y)).

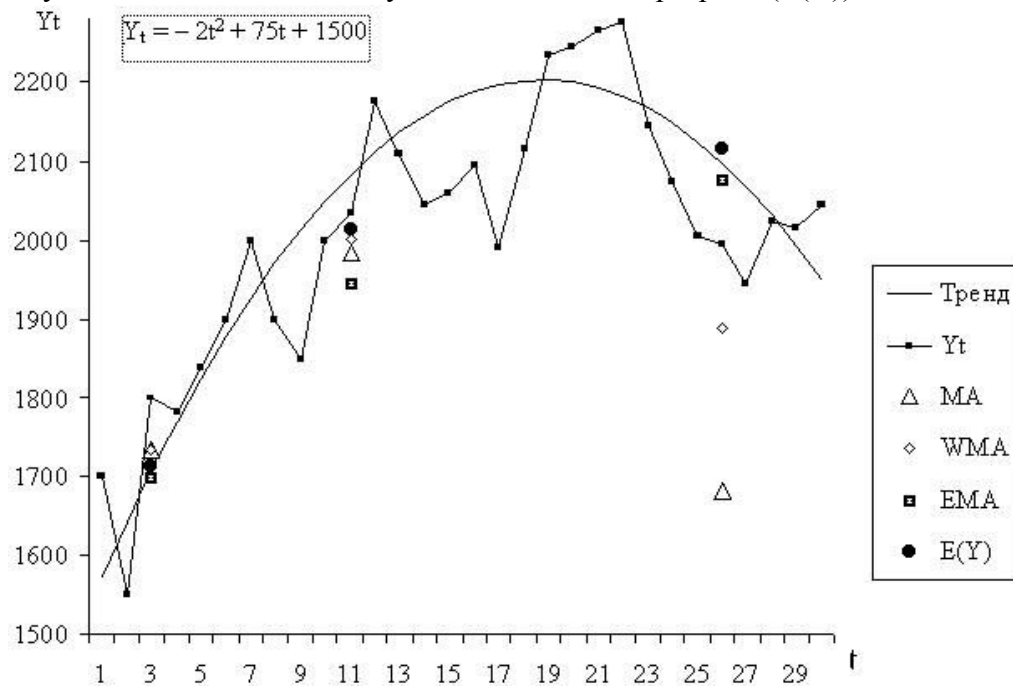


Рис. 1. Ефект зміщення при фільтруванні нелінійних трендів

Найменше ефект зміщення проявив себе на маленькому часовому вікні в 5 днів. В цьому вікні найбільше зміщення +1,58% дав метод простого ковзного середнього, найменше зміщення виявилось при використанні умовного математичного очікування ковзної авторегресії +0,32%. Використання для фільтрації методів зваженого ковзного середнього та експоненціального ковзного середнього призвело до зміщення +1,54% та -0,50% відповідно.

Таке незначне зміщення при використанні всіх методів в цьому часовому вікні легко пояснити. На цьому відрізку часу тренд  $Y_t = -2t^2 + 75t + 1500$  веде себе аналогічно до лінійного тренду, тобто систематична похибка в цьому випадку наближена до нуля, і, як наслідок, ефект зміщення майже відсутній.

В середньому часовому вікні в 21 день найбільше зміщення - 6,64% виявилось при застосуванні методу експоненціального ковзного середнього, найменше зміщення - 3,33% виявилось при застосуванні умовного математичного очікування ковзної авторегресії. Інші два методи: простого та зваженого ковзного середнього дали зміщення - 4,69% і - 3,94% відповідно.

Як і слід було очікувати, найбільші прояви ефекту зміщення можна спостерігати при фільтруванні в найбільшому часовому вікні. На цьому відрізку часу тренд  $Y_t = -2t^2 + 75t + 1500$  має суттєво нелінійний характер і тому добре простежуються вади методів фільтрування.

Так, найгіршим за якістю фільтрування виявився метод простого ковзного середнього, що призвів до зміщення - 19,85%. Найкращі фільтрувальні можливості виявив метод з використанням умовного математичного очікування ковзної авторегресії, зміщення при використанні цього методу склало +0,86%. Майже такі ж добрі можливості виявилися цього разу і при застосуванні методу експоненціального ковзного середнього, зокрема, зміщення склало - 1,01%. Посередньо показав себе метод зваженого ковзного

середнього, він призвів до зміщення – 9,98%.

Для усунення ефекту зміщення було запропоновано метод ковзної авторегресії, адаптивної до типу нелінійності тренду, що фільтрується. Суть запропонованого методу полягає в тому, що на кожному інтервалі усереднення за відомими цінами закриття нелінійним методом найменших квадратів обчислюють невідомі параметри набору рівнянь авторегресії різних типів. Для кожного з рівнянь авторегресії розраховується коефіцієнт автокореляції третього порядку [11]. Далі вибирається рівняння з найменшою автокореляцією залишків. За допомогою цього рівняння обчислюється умовне математичне очікування. Процес повторюється, як і у випадку простих ковзних середніх [12, С. 98].

Для кількісної характеристики якості фільтрації зазвичай використовують один з двох критеріїв: критерій мінімуму середнього квадрату помилки та критерій максимуму апостеріорної вірогідності. В першому випадку знаходимо мінімум величини

$$\varepsilon^2 = \sum_{n=1}^{\infty} [\tilde{x}(n) - x(n)]^2$$

В другому випадку задача оптимальної фільтрації зводиться до спостереження за апостеріорною вірогідністю [2].

Для кількісної оцінки якості фільтрації методами простого ковзного середнього, експоненціального ковзного середнього та методом ковзної авторегресії, адаптивної до типу нелінійності тренду, що фільтрується, було проведено експериментальне дослідження на ринку акцій The Boeing Co, що були виставлені на Нью-Йоркській фондовій біржі. Період дослідження складає 3 роки. За цей період було визначено 16 висхідних і 14 низхідних трендів. Кожний тренд було оцінено за допомогою нелінійного методу найменших квадратів. Потім кожним з вище названих методів було відфільтровано ціновий графік акцій для кожного ковзного вікна  $m$  від 5 до 30 днів і розрахована середньоквадратична похибка фільтрування, що визначається як сума квадратів відхилень відфільтрованих цін від трендів.

Виявилось, що метод експоненціального ковзного середнього дав найгірші результати (див. рис. 2).

Кращі результати за критерієм мінімуму середнього квадрату помилки дали методи простого ковзного середнього та ковзної авторегресії, адаптивної до типу нелінійності тренду, що фільтрується (див. рис. 2).

Оптимальна з точки зору прибутковості довжина ковзного вікна визначається як математичне очікування довжини тренду. Для ринку акцій The Boeing Co ця величина дорівнює 19 дням. На основі цього можна сказати, що найефективнішим є метод ковзної авторегресії, адаптивної до типу нелінійності тренду, що фільтрується, тому що застосування цього методу в оптимальному ковзному вікні дає найменшу середньоквадратичну похибку (див. рис. 2).

Для ковзних вікон з довжиною від 5 до 9 запропонований метод дає дещо гірші результати, тому що оцінка параметрів авторегресії здійснюється за допомогою методу найменших квадратів, який дає неефективні оцінки на малих вибірках [13]. Після ковзного вікна в 26 днів запропонований метод знов дає результати гірші за метод простого ковзного середнього. Це відбувається за рахунок того, що з ростом довжини тренду на ціновому графіку акцій останній перетворюється на лінійний, а алгоритм розпізнавання трендів у запропонованому методі через свою недосконалість класифікує деякі лінійні тренди як нелінійні.

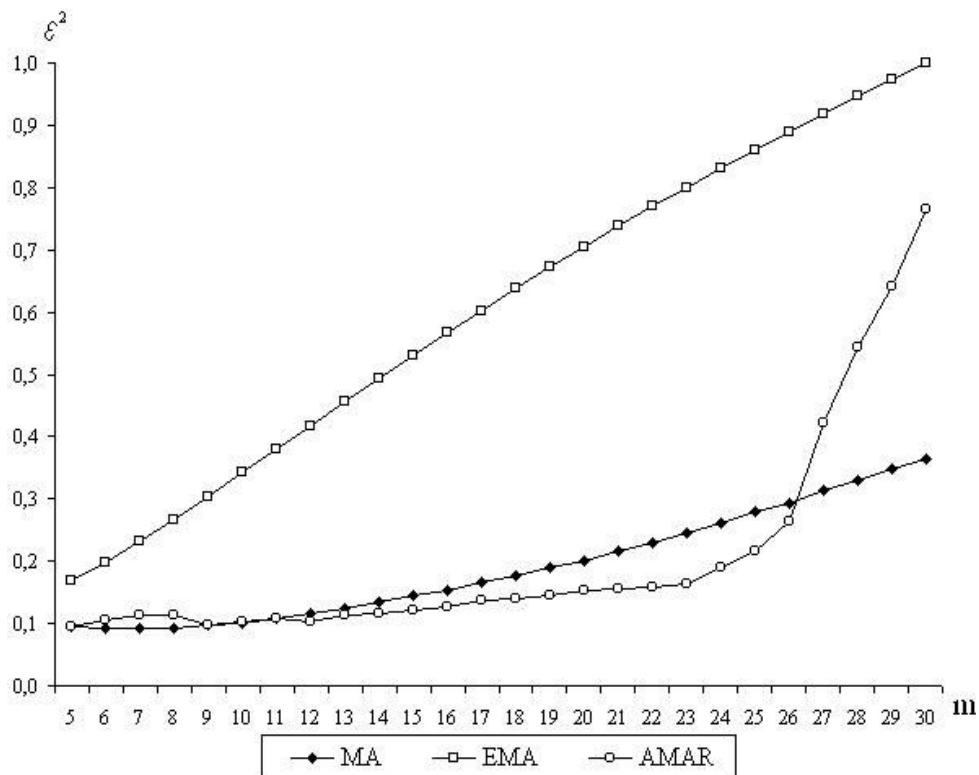


Рис. 2. Залежність похибки фільтрації від методу та довжини ковзного вікна аналізу

**Висновки.** За результатами досліджень можна зробити наступні висновки.

При фільтруванні цінкових біржових графіків завжди присутній ефект зміщення відфільтрованого тренду від справжнього. Найменше зміщення проявляється при фільтруванні лінійних трендів, тому що в цьому випадку відсутня систематична похибка, і зміщення обумовлене лише шумом присутнім у вихідних даних. При наявності на цінкових біржових графіках нелінійних трендів ефект зміщення стає досить суттєвим.

На всіх досліджених часових вікнах найменше ефект зміщення виявив себе при використанні умовного математичного очікування ковзної авторегресії для фільтрування трендів. Найгірші результати фільтрування, тобто найбільше зміщення в більшості випадків виявилось при використанні для фільтрації методу простого ковзного середнього. Методи зваженого ковзного середнього та експоненціального ковзного середнього дали посередні результати.

Дослідження показали, що величина зміщення залежить від закону формування тренду, положення цього тренду відносно декартової системи координат і довжини ковзного часового вікна. З ростом довжини ковзного часового вікна зростає різниця між власно нелінійним трендом та його лінійаризованою моделлю.

Найкращим за критерієм мінімуму середнього квадрату помилки серед методів простого ковзного середнього, експоненціального ковзного середнього та методу ковзної авторегресії, адаптивної до типу нелінійності тренду, що фільтрується, виявився останній. Ефективність застосування цього методу обумовлена усуненням ефекту зміщення під час фільтрування цінкового біржового графіку.

#### РЕЗЮМЕ

В статті показана ефективність застосування нового методу нелінійної фільтрації цінкових біржових графіків у порівнянні з класичними методами цифрової фільтрації.

#### РЕЗЮМЕ

В статье показана эффективность применения нового метода нелинейной фильтрации ценовых биржевых графиков в сравнении с классическими методами цифровой фильтрации.

#### SUMMARY

The efficiency of application of a new method of a nonlinear filtration of the price exchange

diagrams in comparison with traditional methods of a digital filtration is shown in article.

Перелік літературних джерел.

1. Товарні біржі в Україні: аналіз діяльності, законодавче поле, перспективи розвитку / За ред. П. Т. Саблука та О. М. Шпичака. – К.: Наукова думка, 1997. – 327 с.
2. Основы цифровой обработки сигналов: Курс лекций / А. И. Солонина, Д. А. Улахович, С. М. Арбузов, Е. Б. Соловьева, И. И. Гук. – Спб.: БХВ-Петербург, 2003. – 608 с.
3. Колби Р. Энциклопедия технических индикаторов рынка. Альпина Бизнес Бук, 2004. – 837 с.
4. Лука Корнелиус. Применение технического анализа на мировом валютном рынке Forex. – М.: Евро, 2003. – 412 с.
5. Кан Н. Технический анализ. – Спб.: Питер, 2005. – 282 с.
6. Швагер Д. Технический анализ. Полный курс. – М.: Альпина Бизнес Бук, 2005. – 806 с.
7. Эрлих А. А. Технический анализ товарных и финансовых рынков: прикладное пособие. – М.: Финансист, 2003. – 176 с.
8. Хаертфельдер М. Фундаментальный и технический анализ рынка ценных бумаг. – Спб.: Питер, 2005. – 352 с.
9. Найман Э Л. Малая энциклопедия трейдера. – М.: Альпина Бизнес Бук, 2005. – 403 с.
10. Сафин В. Торговая система трейдера: фактор успеха. – Спб.: Питер, 2005. – 240 с.
11. Гизатулин А. М. Сравнительный анализ алгоритмов распознавания случайных образов // Материалы XXX Юбилейной международной конференции «Информационные технологии в социологии, экономике, образовании и бизнесе». – Запорожье: ЗГУ, 2003. – С. 47 - 48.
12. Смирнов А. В., Гизатулин А. М. Скользящая авторегрессия, адаптивная к типу уравнения выделяемого тренда // Економіка: проблеми теорії та практики: Зб. наук. тр. Випуск 175. – Дніпропетровськ: ДНУ, 2003. – 240 с.
13. Цыпкин Я. З. Информационная теория идентификации. – М.: Наука, 1995. – 527 с.

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ ФІЛЬТРАЦІЇ ЦІНОВИХ БІРЖОВИХ ГРАФІКІВ

Гизатулин А. М.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ФИЛЬТРАЦИИ ЦЕНОВЫХ БИРЖЕВЫХ  
ГРАФИКОВ

Гизатулин А. М.

THE EFFICIENCY ANALYSIS OF METHODS OF A FILTRATION OF THE PRICE  
EXCHANGE DIAGRAMS

Gizatulin A. M.