

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Економічний факультет

Кафедра економічної кібернетики

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

**FCVAR МОДЕЛЮВАННЯ СТІЙКОСТІ ЦІНОВИХ РЯДІВ
ДОРОГОЦІННИХ МЕТАЛІВ ТА НАФТИ ПІД ЧАС ПАНДЕМІЇ COVID-19**

студентки 2 курсу магістратури
спеціальності 051 «Економіка»
ОНП «Економічна кібернетика»
денної форми навчання
Бобро Ольги Андріївни

Науковий керівник:

к.ф.-м.н., доцент

Кравець Тетяна Вікторівна

Засвідчую, що в цій роботі немає
запозичень із праць інших авторів
без відповідних посилань

Студент О. Бобро
(підпис)

Роботу допущено до захисту перед ЕК
рішенням кафедри економічної кібернетики
від 4 травня 2022 р., протокол №13

Завідувач кафедри:

доктор економічних наук, професор

Ляшенко Олена Ігорівна

(підпис)

КИЇВ-2022

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра містить: 72 ст., 6 рис., 10 табл., 77 джерел, 4 додатки.

Ключові слова: фракційна коінтегрована векторна авторегресія, економетричний метод, модель FCVAR, спреди закриття/відкриття, високі/низькі спреди, дорогоцінні метали, сорти нафти, біржові торги.

Об'єкт дослідження: максимальні/мінімальні спреди та спреди закриття/відкриття на дорогоцінні метали та сорти нафти на товарній біржі.

Мета дослідження: визначити основні закономірності та взаємозв'язки між максимальними/мінімальними спредами та спредами закриття/відкриття на дорогоцінні метали та нафту на підставі економетричної моделі.

Методи дослідження: індукція та дедукція, аналіз і синтез, економетричне моделювання (використовуючи FCVAR модель) за допомогою комп'ютерної програми Matlab.

Практична цінність: результати проведеного дослідження та побудовану FCVAR модель можна використовувати при аналізі волатильності цін на біржових торгах.

RESUME

Taras Shevchenko National University of Kyiv,

Faculty of Economics, Department of Economic Cybernetics

Key words: fractionally cointegrated vector autoregressive model, econometric method, FCVAR model, maximum/minimum spreads, closing/opening spreads, precious metals, oil, exchange trading.

The graduation research of student Bobro Olha Andriivna deals with using of econometric analysis in the study of processes and patterns that occur at the stock exchange. Namely: the relationship between maximum/minimum spreads and closing/opening spreads for precious metals and oil in stock trading was investigated using the FCVAR modeling.

The work is interesting for economists, scientists in the field of econometrics, participants in exchange trading.

Pages 72, tables 10, bibliog. 77, append. 4.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. БІРЖІ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЇХ ФУНКЦІОНУВАННЯ	8
1.1. Класифікація, види та організація діяльності бірж.....	8
1.2. Максимальні та мінімальні ціни на біржі. Волатильність біржового ринку.....	14
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ДІЯЛЬНОСТІ БІРЖІ	17
2.1. Технічний, фундаментальний та економетричний аналізи діяльності бірж	17
2.2. FСVAR модель, її специфіка та тестування	21
РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ « <i>HL</i> » СПРЕДІВ І « <i>CO</i> » СПРЕДІВ ДЛЯ ДОРОГОЦІННИХ МЕТАЛІВ ТА НАФТИ, ВИКОРИСТОВУЮЧИ FСVAR МОДЕЛЬ.....	29
3.1. Аналіз вхідних даних для дорогоцінних металів та нафти	29
3.2. Дослідження FСVAR моделей.....	34
3.3. Прогнозування та симулювання спредів	53
РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАНДЕМІЇ КОРОНАВІРУСУ НА БІРЖОВІ ТОРГИ ДОРОГОЦІННИМИ МЕТАЛАМИ ТА НАФТОЮ	61
4.1. Графічний аналіз та перевірка на фрактальність вхідних даних.....	61
4.2. Тестування та оцінка FСVAR моделі.....	64
ВИСНОВКИ	71
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	73
ДОДАТКИ.....	81

ВСТУП

В умовах ринкової економіки діяльність бірж набуває вагомого значення. Це пов'язано з тим, що біржова торгівля регулює оптовий товарообіг на основі ринкових законів, унеможливорює монополізм торгівлі, забезпечує формування ринкових цін під впливом співвідношення попиту і пропозиції.

Передбачуваність цін активів на біржах є найбільш актуальною темою фінансових досліджень. Спостережувані закономірності у фінансових часових рядах мотивують науковців прогнозувати ціни на активи, адже значення високих/низьких цін і цін закриття/відкриття дає певні підказки щодо ринкових коливань і напрямку руху цін.

Основними методами дослідження формування цін на біржових торгах є *технічний, фундаментальний і економетричний аналізи*, які дають змогу оцінити інновації цін з різних точок зору. До науковців, які розвивали *технічний аналіз належать*: Ло, Мамайський і Ванг, Лан, Жанг і Ксіонг, Морріс, Рой, Шарма та Ковар, Се, Чжао, Прадо, Фернеда, Луїз і Матсура, Лі, Фенг, Маршал і Балевоніч. Прихильниками *фундаментального аналізу* є С. Коттл, Р. Ф. Мюррей, Ф. Е. Блок, М. Томсет, У. Шарп, Г. Александер, Дж. Бейлі, Дж. Швагер, Х. Кім, Б. Грехем, Дж. Рітч, П. Кларк, К. С. Царихін, О. Сохацька, К. В. Криничанський, Е. Найман, З. Боді, А. Кейн, А. Маркус, А. П. Іванов, В. В. Твардовский, С. В. Паршиков, А. Дамодаран, У. Баффетт, В. Якимкин та ін. На сучасному етапі для дослідження соціально-економічних явищ активно використовується *економетричний аналіз*. Теорії і практиці економіко-математичного моделювання присвячені роботи Андерсона Т., Багриновського К., Бокса Дж., Гранберга А., Грейнджера С., Дженкінса Г., Джонстона Дж., Енгеля Р., Ємельянова А., Леонтєва В., Лукашина Ю., Маленво Е., Ньюболда Р., Тейла Г., Терехова Л., Четиркіна Е., Холта С. та інших. Вагомий внесок у розвиток економетричного аналізу було здійснено українськими науковцями В.С.Михалевичем, І.В.Сергієнком, О.О.Бакаєвим, В.М.Гейцем, Б.Є.Кваснюком, В.О.Точиліним, М.І.Скрипниченком, С.С.Шумською, М.П.Соколикком, О.І.Черняком, О.В.Комашком, А.В.Ставицьким та іншими.

У наш час для вивчення процесів та закономірностей, які відбуваються під час торгів на біржах, застосовується економетричний аналіз з використанням моделі дробово коінтегрованої векторної авторегресії (FCVAR); проте кількість таких досліджень поки обмежена через новизну цієї моделі. Суттєвий внесок у дослідження та розвиток проблем використання FCVAR моделі зробили Йохансен, Нільсен, Долатабаді, Сюй, Масьел, Карліні, Сантусі де Магістріс, Гіл-Алана, Мудіда, Карсел, Барундік, Дворакова.

У даній роботі досліджено стійкість цінових рядів дорогоцінних металів та нафти під час пандемії COVID-19, а точніше взаємозв'язок між щоденними високими/низькими цінами та цінами закриття/відкриття на дорогоцінні метали та нафту в процесі торгів на товарній біржі. Емпіричний аналіз проведено за допомогою FCVAR моделі для дорогоцінних металів: золото, платина, паладій та срібло, та сортів нафти Brent та WTI, використовуючи комп'ютерну програму Matlab, коди Нільсена та Попіля [59], Верона [73][74].

Об'єктом дослідження є максимальні/мінімальні спреди та спреди закриття/відкриття на дорогоцінні метали та сорти нафти на товарній біржі.

Предметом дослідження є моделювання та оцінювання максимальних/мінімальних спредів і спредів закриття/відкриття для дорогоцінних металів та сортів нафти на товарній біржі, використовуючи FCVAR модель.

Мета даного дослідження - визначити основні закономірності та взаємозв'язки між максимальними/мінімальними спредами та спредами закриття/відкриття на дорогоцінні метали та сорти нафти на підставі економетричної моделі.

Основними завданнями є:

- дослідження основних параметрів торгів на товарній біржі.
- вивчення існуючих досліджень FCVAR моделі;
- аналіз статистичних даних;
- визначення взаємозв'язків між максимальними/мінімальними спредами та спредами закриття/відкриття на дорогоцінні метали та сорти нафти;

- дослідження взаємозалежностей між максимальними/мінімальними спредами та спредами закриття/відкриття для дорогоцінних металів та сортів нафти за допомогою FCVAR моделі.

Інформаційною та аналітичною базою дослідження взаємозв'язків між максимальними/мінімальними спредами та спредами закриття/відкриття на дорогоцінні метали та сорти нафти є монографічні праці зарубіжних вчених-економістів, Інтернет-ресурси, щоденні статистичні дані товарних бірж за період з 2008 по 2022 рік.

Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу; першого розділу, в якому висвітлені такі теоретико-економічні відомості, як класифікація бірж, основні характеристики товарної біржі, види товарів на товарній біржі, особливості торгівлі дорогоцінними металами та нафтою, формування цін та волатильність на біржі. В другому розділі представлено теоретичні основи та особливості дослідження показників біржової діяльності за допомогою існуючих видів аналізу; більш детально охарактеризовано сучасний економетричний метод аналізу діяльності бірж та інструменти для його виконання. Третій розділ містить дослідження впливу щоденних максимальних/мінімальних спредів на спреди закриття/відкриття для дорогоцінних металів та нафти на товарній біржі за допомогою чотирьох типів FCVAR моделі у комп'ютерній програмі Matlab. Визначається найкраща модель, на основі якої будується прогноз та симулювання величини максимальних/мінімальних спредів та спредів закриття/відкриття для дорогоцінних металів та сортів нафти на 365 днів вперед. У четвертому розділі аналізується вплив пандемії коронавірусу на рівень цін на дорогоцінні метали та сорти нафти на біржових торгах. Крім того, в кваліфікаційній роботі магістра надані висновки, перелік використаної літератури та додатки, у яких надано результати симулювання FCVAR моделей для третього розділу, графічний аналіз вхідних даних та таблиці результатів для четвертого розділу, коди комп'ютерної програми Matlab, які використовувалися при дослідженні FCVAR моделей для дорогоцінних металів та сортів нафти.

Результати проведеного дослідження взаємозв'язку між щоденними високими/низькими цінами та цінами закриття/відкриття на дорогоцінні метали в процесі торгів на товарній біржі було використано при написанні та поданні статті "Fractionally Cointegrated Vector Autoregression Model of Spread Estimation for Metals" (автори: Ляшенко О.І., Кравець Т.В. та Бобро О.А.) на X Міжнародну конференцію «Передові комп'ютерні інформаційні технології»; а також при підготовці тез на наукову конференцію «Шевченківська весна 2022. Цифрова трансформація економіки в умовах пандемії COVID-19».

РОЗДІЛ 1. БІРЖІ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЇХ ФУНКЦІОНУВАННЯ

1.1. Класифікація, види та організація діяльності бірж.

Важливою ознакою ринкової економіки є наявність і функціонування бірж.

Біржа (нім. *Börse*, від пізньолат. *bursa* — гаманець) — організований торговельний майданчик, на якому відбувається гуртова торгівля товарами або цінними паперами у вигляді стандартизованих біржових угод. На біржі укладаються угоди по біржових товарах, в результаті чого утворюється динаміка ціни тільки під впливом ринкового попиту та пропозиції, що дає змогу орієнтуватися учасникам ринку та прогнозувати хід торгів в майбутньому [15].

В сучасних умовах біржа є класичним інститутом ринкової економіки, яку слід розглядати в організаційному, економічному і юридичному аспектах її діяльності:

- з організаційної точки зору – це спеціально обладнане «ринкове місце», що надається учасникам біржового торгу;
- з економічної точки зору – це організований у певному місці регулярно діючий за встановленими правилами оптовий ринок, на якому здійснюється торгівля цінними паперами, оптова торгівля товарами за зразками, стандартами і контрактами на їх поставку в майбутньому, а також валютою, дорогоцінними металами за цінами, які офіційно встановлені на підставі попиту та пропозиції;
- у юридичному аспекті – це організація, що об'єднує фізичних і юридичних осіб, які володіють відокремленим майном і мають майнові й власні немайнові права й обов'язки.

Особливості роботи бірж, їх структури, складу органів управління відображаються за допомогою класифікації, яка містить характерні відмінності, притаманні біржам. Види бірж за класифікаційними ознаками наведено у табл.1.1.

Види бірж за класифікаційними ознаками

Класифікаційна ознака	Види бірж
Вид біржового товару	Товарні Фондові Валютні
Принцип організації (роль держави у створенні бірж)	Публічно - правові (державні) Приватноправові (приватні) Змішані
Організаційно - правова форма	Акціонерні товариства (відкритого і закритого типу) Товариства з обмеженою відповідальністю Інші організаційно - правові форми
Форма участі відвідувачів у біржових торгах	Закриті Відкриті
Номенклатура товарів, що є об'єктом біржового торгу	Універсальні Спеціалізовані
Вид біржових угод	Біржі наявного товару Ф'ючерсні біржі Опціоні біржі Змішані біржі
Місце і роль у світовій торгівлі	Міжнародні Національні
Місце та географія торгівлі (сфера діяльності)	Центральні Міжрегіональні Регіональні (локальні)

Джерело: розроблено автором на основі [2].

До основних функцій бірж належать:

- концентрація попиту та пропозиції в одному місці;
- формування ринкових цін на основі співвідношення попиту та пропозиції;
- регулювання оптового товарообігу на підставі ринкових законів;
- зближення продавців і покупців у просторі й часі;
- боротьба проти монополізму на товарному ринку;
- прискорення товарообігу з урахуванням світового поділу праці;
- кваліфіковане посередництво між продавцями й покупцями;
- інформаційне забезпечення учасників товарних ринків.

Допоміжні функції бірж формуються залежно від ступеня розвитку ринкових відносин у країні та рівня державно-правового регулювання біржової діяльності[2].

До *допоміжних функцій* бірж насамперед відносять:

- стандартизацію біржових контрактів (стандартизацію вимог до якісних характеристик біржових товарів, розмірів партії активу, який лежить в основі контракту, розробку єдиних вимог до розрахунків за біржовими угодами);
- арбітраж між учасниками біржових угод (вирішення спірних питань за укладеними угодами в ході біржових торгів);
- розрахункові операції;
- різноманітні послуги клієнтам.

Товарна біржа – це організація, що об'єднує юридичних і фізичних осіб, які проводять виробничу і комерційну діяльність, і має на меті надання послуг в укладенні біржових угод, визначення товарних цін, попиту і пропозицій на товари. На товарних біржах продаються контракти на стандартизовані види товарів (а не самі товари), що можуть бути реалізовані великими партіями або за зразками по технічному опису [14].

Діяльність товарних бірж регулюється Законом України від 10 грудня 1991 р. «Про товарну біржу» в редакції від 15 квітня 2014 року. Закон спрямований на врегулювання відносин по створенню і діяльності товарних

бірж, біржової торгівлі і забезпечення правових гарантій діяльності на товарних біржах [6].

На товарних біржах контрагенти добровільно обирають один одного, ціни формуються під впливом попиту та пропозиції, торги проводяться за єдиними правилами, встановленими біржою, типова форма контракту спрощує проведення торгів. Біржові договори укладають лише члени біржі особисто або через своїх уповноважених, а також біржові брокери за дорученням членів біржі. Поруч з брокерами в торгах беруть участь і члени біржі, так звані біржові маклери (дилери), які ведуть і фіксують договори.

Товарна біржа не має права здійснювати діяльність з метою отримання прибутку; для цілей оподаткування вона підлягає включенню до реєстру неприбуткових установ та організацій.

До торгівлі на товарній біржі допускаються товари, головною рисою яких є простота і стандартизованість асортименту та якості. Біржовий товар має бути масовим, однорідним, кількісно та якісно стандартизованим, взаємозамінним, знеособленим і, з огляду на високий рівень попиту і пропозиції, ним торгують у великих обсягах, що дає змогу встановити більш реальну ринкову (рівноважну) ціну [10].

Класифікація біржових товарів на міжнародних товарних біржах виділяє такі товарні групи [2]: сільськогосподарська продукція і сировина; продовольчі товари; лісоматеріали; кольорові й дорогоцінні метали; паливно-енергетичні матеріали.

Біржова торгівля дорогоцінними металам. Дорогоцінні метали – це метали, які не піддаються окисленню і корозії, що значно відрізняє їх від інших металів. До них належать срібло, золото, платина, а також іридій, паладій, рутеній, родій, осмій. Право називатися дорогоцінними вони заслужили і за те, що запаси їх уже дуже малі і зменшуються з кожним роком.

Основними на біржі і найчастіше інвестованими стали лише 4 з них: золото; срібло; платина; паладій, причому попит на ці метали істотно відрізняється. Золото частіше, ніж інші види, використовують безпосередньо в

ювелірній промисловості. Платиноїдна група, куди відносяться сама платина і паладій, частіше застосовується в автопромисловості. Срібло ж було незамінне в фото- і кіноіндустрії, але з настанням цифрової епохи стало менш затребуваним. Наразі благородні метали представляють впевнену альтернативу валютним заощадженням. Адже, будучи реальним товаром, дорогоцінні метали не так суттєво піддаються інфляції, як паперові гроші; їх найчастіше не витрачають, а інвестують[7].

Біржа дорогоцінних металів - це сегмент ринку, який веде свої торги з допомогою відкритої купівлі-продажу, уніфікує і впорядковує ринок ресурсів, а також є певним індикатором економіки та розвитку ринку. Міжнародні ринки дорогоцінних металів є сукупністю окремих торговельних площадок, які спеціалізуються на укладанні угод купівлі-продажу дорогоцінних металів. До умовних секторів міжнародного ринку належать найбільші біржі, а саме: Лондонська біржа металів (London Metal Exchange); Шанхайська біржа золота (англ. the Shanghai Gold Exchange); Нью-Йоркська біржа (COMEX); Токійська товарна біржа (Tokyo Commodity Exchange).

Для зручності учасників ринку дорогоцінні метали котируються в декількох валютах, але переважно в доларах США. Умови контракту можуть передбачати реальну поставку металу або обмежуватися розрахунками за котируваннями на момент виконання контракту.

У дорогоцінних металів є свої особливості, які відображаються на роботі трейдерів. Ці активи мають певну цінність для інвесторів – вони завжди користуються високим попитом, так як є надійним способом капіталовкладень особливо в період економічних та фінансових криз. Крім того, дорогоцінні метали фактично не дешевшають.

Біржова торгівля нафтою. У всьому світі нафта є одним з найважливіших джерел палива і історично сприяла більш ніж третині споживання енергії у світі. Будучи таким важливим джерелом енергії, сира нафта є основним джерелом імпорту та експорту багатьох країн. Нафта – один з найпопулярніших сировинних товарів. За останні роки нафта набула статусу

«світової валюти», оскільки стабільність економіки залежить багато в чому від неї. Ціна на нафту стала одним з найважливіших показників стану світової економіки. Без нафти неможливе успішне функціонування ні світових транспортних зв'язків, ні світової економіки. Людство знайшло застосування нафти та її компонентів у всіх сферах життєдіяльності. Нафта - це паливо для транспортних засобів, сировина для електроенергетики, сировина для хімічної промисловості. Нафтові компоненти широко використовуються для виготовлення предметів у промисловості, у виробництві предметів побуту та продуктів народного споживання, у медицині, косметології, і майже переважають у всіх сферах людського побуту. Варто розуміти, що єдиної «ціни на нафту» не існує. Сорти нафти сильно різняться за якістю та складом, і ці показники багато в чому залежать від місця походження сировини. Основні параметри якості нафти – це щільність та вміст сірки. Фахівці виділяють легкі, середні та важкі сорти нафти. Кожен сорт має свою назву.

Для уніфікації операцій під час торгів та зручності визначення ціни на експортовані сорти нафти було введено кілька еталонних (маркерних) видів нафти. Таким чином, еталонні сорти визначають ціни інші сорти нафти. Загально визнаними стандартами товарної якості сьогодні є такі сорти нафти: європейська Brent (Brent Crude Oil) та американська West Texas Intermediate (WTI).

Brent (Brent Crude Oil) - сорт нафти, що видобувається в Північному морі. Назва сорту походить від однойменного родовища. Є однією з чільних марок нафти, що торгуються на міжнародних нафтових біржах. Починаючи з 80-х років, нафта Brent закріпилася на міжнародних товарних біржах як еталонна сировина. Саме вона є основою для ціноутворення приблизно 40% від усіх марок нафти, що продаються у світі. Даний сорт нафти використовується в основному на ринках Європи та країн ОПЕК

West Texas Intermediate (WTI) - марка нафти, яка видобувається в штаті Техас (США), вважається еталонним через свій хімічний склад. Нафта WTI є одним з найпопулярніших сортів, який використовується у виробництві палива,

в основному гасу та бензину, і тому на даний сорт нафти високий попит, зокрема у США та Китаї.

Торгівля нафтою та нафтопродуктами здійснюється на товарно-сировинних біржах. Нині найбільшими центрами біржової торгівлі нафтою загальносвітового рівня є Нью-Йоркська товарна біржа (NYMEX) та Лондонська міжконтинентальна біржа (ICE Futures Europe), на які припадає понад 50% укладених контрактів на нафту. Також істотну вагу мають локальні організатори торгів, серед них виділяються Сінгапурська товарна біржа (SGX) та Іранська нафтова біржа (IOB). У сукупності діяльність вищенаведених центрів біржової торгівлі нафтою сприяє глобалізації світового ринку нафти, його функціонуванню в режимі реального часу та єдиного інформаційного простору, взаємопов'язаності та підпорядкованості цін на нафту в різних регіонах. На кожній із цих бірж торгуються нафтові контракти, що є чітко стандартизованими. Обсяг постачання становить 1000 барелів. Термін виконання контрактів буває 3 типів: 12 місяців поспіль, поквартально - до 24 місяців, за півріччя - максимум до 36 місяців. Традиційно найбільше торгуються контракти на найближчі місяці.

В процесі торгів на товарних біржах ціни на дорогоцінні метали та еталонні марки нафти формуються у іноземній валюті – доларі США. Дорогоцінні метали продаються/купаються у тройській унції (1 тр. унція= 31,103478 грами), а еталонні марки нафти – у американських нафтових барелях (1 америк. нафт. барель = 42 галони = 158,988 літрів).

1.2. Максимальні та мінімальні ціни на біржі. Волатильність біржового ринку

Головне питання, яке хвилює кожного трейдера з моменту відкриття торгового рахунку - куди буде рухатися ціна: вгору, вниз або залишиться на місці. Саме тому для аналізу роботи бірж досліджуються такі показники: максимальні/мінімальні ціни на активи; ціни закриття/відкриття на активи.

Денний максимум і мінімум – це ціновий діапазон, в якому товар продавався протягом дня. Іншими словами, це - максимальна і мінімальна ціна, заплачена за товар трейдерами. Максимум (high) - найвища ціна за товар за вказаний період (за певний день). Мінімум (low) - найнижча ціна за товар за вказаний період (за певний день). *Максимальна і мінімальна ціна в попередній день - це інформація, яка допомагає проаналізувати волатильність ціни за товар.*

Як відомо, біржовий ринок - це динамічна система. На ньому постійно відбуваються якісь рухи, коливання та зміни. У професійному середовищі такі коливання називають волатильністю. Волатильність біржового ринку - це статистичний показник, який характеризує мінливість ціни за певний проміжок часу. Він є найголовнішою ланкою в управлінні ризиками на фінансових ринках, а також є середнім діапазоном (з певними мінімумами і максимумами), в якому може коливатися ціна. Наприклад, чим сильніше коливаються валютні пари на ринку Форекс, тим вище у них волатильність, і навпаки. Саме волатильність надає можливість робити прогнози і ставки з урахуванням попередніх коливань вартості[13]. Даний показник можна сміливо назвати фундаментальним для торгівлі, так як трейдер отримує прибуток від різниці між ціною купівлі та ціною продажу активу. Відповідно, чим більше волатильність, тим більше потенційний прибуток, але, відповідно, і вище ризик зазнати значних втрат в разі побудови помилкового прогнозу.

Найчастіше волатильність біржового ринку оцінюють за допомогою даних попередніх періодів, тобто спостерігають минулу динаміку ціни і роблять припущення про потенційну мінливість. Такий підхід об'єктивно обумовлений і дозволяє вибудовувати прогнози на майбутнє, вивчаючи минулу поведінку ціни.

Коливання цін не відбуваються самі по собі, тому важливо знати, чим викликана волатильність біржового ринку. Найчастіше значні рухи відбуваються під впливом факторів фундаментально характеру. Це можуть бути важливі економічні зрушення, рішення щодо монетарної політики, які приймаються Національним банком країни, будь-які події в політичній сфері держави,

спекулятивні або психологічні причини, адже ринок враховує все. Таким чином, при формуванні своєї стратегії трейдер повинен враховувати не тільки свої особисті переваги, вибирати спосіб проведення аналізу, розробляти систему управління ризиками, а й дуже ретельно підбирати інструмент для роботи відповідно до мінливості цін [2]. Правильна оцінка волатильності є запорукою успіху.

Ціни відкриття та закриття на біржі. Спреди. Ціна відкриття - вартість активу, встановлена на початку торгів на біржі. Покупці і продавці призначають ціни, за якими виставляються перші заявки на продаж і купівлю активів або відбуваються перші угоди. Ціна відкриття (open)- ціна першої угоди даного періоду. При аналізі денних даних ціна відкриття особливо важлива, оскільки вона відображає одностайну думку, до якого прийшли всі учасники ринку до ранку.

Ціна закриття – це ціна, по якій відбулася остання угода торгового дня, тобто ціна угоди на момент закриття торгової сесії, максимально відображає очікування трейдерів. Завдяки її широкій інформаційній доступності, цю ціну частіше інших використовують при аналізі. Ціна закриття – це індикатор минулої динаміки і, за винятком надзвичайних обставин, служить зразковим орієнтиром вартості.

На товарній біржі активно використовується термін «спред» - це різниця між двома цінами. В нашому дослідженні термін «спред» використовується як різниця за певний день торгів між максимальною та мінімальною ціною на актив, а також між ціною закриття та ціною відкриття на актив. Крім того, в процесі біржових торгів застосовують термін «високі/низькі» спреди замість «максимальних/мінімальних» спредів.

Отже, більш високі спреди між максимальними та мінімальними цінами на актив означають, що коливання цін є великими і навпаки. Крім того, якщо спред закриття/відкриття є позитивним, це означає, що ціна активів має тенденцію до зростання, і навпаки, при негативному спреді закриття/ відкриття ціни активів мають тенденцію до зниження. Високі/низькі спреди та спреди закриття/відкриття на дорогоцінні метали та нафту на біржі є основними об'єктами нашого дослідження.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ДІЯЛЬНОСТІ БІРЖІ

2.1. Технічний, фундаментальний та економетричний аналізи діяльності бірж

Для дослідження руху цін на біржі проводиться аналіз ринку, який існує у декількох формах.

Технічний аналіз. Основним завданням технічного аналізу є вилучення нелінійних шаблонів із зашумлених даних. Технічний аналіз намагається зафіксувати певні цінові схеми у часових рядах за допомогою конкретних математичних моделей для прогнозування майбутніх змін цін. Слід зазначити, що згідно з технічним аналізом, деякі рухи цін слугують для формування певних моделей, проте інші зміни цін є виключно випадковими.

До основних переваг технічного аналізу можна віднести його простоту і наочність - інформація відбивається на графіках і легко засвоюється. Ще одна його перевага – можливість застосування для більш коротких часових інтервалів. Як відомо, компанії звітують щоквартально, а важливі статистичні дані найчастіше виходять щомісяця, в той час як різні тенденції на графіку ціни можуть змінюватися набагато частіше. Проте вважається, що для великих часових масштабів дані технічного аналізу є більш точним та достовірним, ніж для більш дрібних часових періодів [15].

Як стверджують вчені Лан, Джанг і Ксіонг [49], одним з найважливіших методів у технічному аналізі є *метод «свічника» (candlestick method)*, який був введений японськими торговцями рисом у середині 16 століття. Метод «свічника» можна розглядати як поєднання ліній і стовпчиків на графіку. Структура «свічників» включає в себе наступну цінову інформацію: ціна відкриття, ціна закриття, денна висока ціна і щоденна низька ціна. Якщо ціна закриття перевищує ціну відкриття, основний корпус «свічника» повинен бути порожнім. Якщо ціна закриття менше ціни відкриття, «свічник» буде заповнений, як правило, червоним кольором. Лінії вище і нижче основного корпусу відповідають щоденним високим і щоденним низьким цінам відповідно.

Ці лінії називаються хвостами або тінями. Край цих рядків показує найнижчу ціну дня (внизу) і найвищу ціну дня (зверху).

Фундаментальний аналіз дозволяє виявити справедливую ціну активу і спрогнозувати динаміку її зміни, а також зробити висновок про недооціненість справедливої ціни або переоціненість поточної ринкової ціни активу тієї чи іншої компанії. Всі ці висновки робляться на основі інформації, представленої в звітах компаній, а також різних показників звітів, які називаються мультиплікаторами.

Для визначення справедливої ціни активу фундаментальний аналіз ринку використовує загальні економічні тенденції - як у світі, так і в галузі - в сукупності з даними фінансових звітів.

Фундаментальний аналіз стверджує, що ціни на активи є мартингальними, тобто цінові інновації є випадковими, а історична цінова поведінка не може бути використана для прогнозів, тому що поточна ціна активу вже включає відносну минулу інформацію.

Отже, можна сказати, що фундаментальний аналіз використовується для оцінки внутрішньої вартості активу шляхом оцінки відповідних економічних та фінансових змінних на макро- та мікрорівні [\[15\]](#).

Економетричний аналіз. Розвиток методології наукових економічних досліджень вплинув на появу низки нових потужних математичних інструментів для кількісного відображення логічних та реальних економічних зв'язків. Особливу увагу заслуговують економетричні методи, що дозволяють проаналізувати такі зв'язки в динаміці, а також оцінити реакцію системи на дію зовнішніх та внутрішніх шоків.

В дослідженнях економічних процесів найбільшого поширення набули економіко-математичні моделі. Вони є кількісними економіко-математичними образами не лише окремих економічних параметрів, а й економічних процесів або економічних систем загалом. У цих моделях кількість незалежних змінних достатньо велика, за своїм характером вони майже завжди багатofакторіальні економіко-математичні функції або навіть функціонали (функції функцій). У

деяких економіко-математичних моделях багато як незалежних, так і залежних змінних. Такі моделі називають ще багатofункціональними [5].

Виділяють такі типи економіко-математичних моделей: лінійні та нелінійні; балансові й оптимальні; статичні й динамічні тощо.

Крім того можна виділити три основні класи моделей, які застосовуються для аналізу і прогнозування економічних процесів: моделі часових рядів; регресійні моделі з одним рівнянням; системи одночасних рівнянь.

До сучасних методів економіко-математичного моделювання, в першу чергу, слід віднести векторні авто-регресійні економетричні моделі (Vector Autoregressive Models – VAR). VAR моделі – це мультіваріативні динамічні економетричні моделі, що використовуються для відображення лінійних взаємозв'язків між декількома часовими рядами.

У VAR моделі всі змінні а-пріорі трактуються ендогенними, що дозволяє відобразити динамічні взаємозв'язки між досліджуваними економічними показниками. Такі моделі об'єднують прості авто-регресійні рівняння в одну ендогенну систему. VAR моделі найчастіше застосовуються для прогнозування, однак популярність даної методології сприяла розвитку іншого інструментарію, що дозволяє оцінити структурні зв'язки між ендогенними компонентами.

Процедура моделювання та аналізу VAR моделей передбачає декілька необхідних етапів. Першим етапом є підготовка часових рядів, оскільки основним припущенням VAR моделей є стаціонарність часових рядів.

Часовим (динамічним (time-series data)) рядом називають вибірку спостережень, в якій важливі не лише самі спостережувані значення випадкових величин, а й порядок їхнього слідування. Як правило, впорядкованість зумовлена тим, що експериментальні дані є серією спостережень однієї і тієї ж випадкової величини в послідовні моменти часу. У цьому випадку динамічний ряд називають часовим рядом [3].

Аналіз часових рядів — це сукупність математико-статистичних методів аналізу, призначених для виявлення структури часових рядів і для їх прогнозування з метою побудови математичної моделі того явища, яке є

джерелом аналізованого часового ряду. Прогноз майбутніх значень часового ряду використовується при прийнятті рішень, крім того він раціоналізує існування аналізу часових рядів окремо від економічної теорії [4].

Для стаціонарного часового ряду характерною є рівновага його значень біля середнього значення, яке є константою, а для нестаціонарного ряду ковзне середнє значення процесу є функцією від часу.

Часовий ряд Y_t називається *інтегрованим* порядку d ($I(d)$), якщо стохастичний тренд можна відділити за допомогою диференціювання d разів. Для позначення оператора диференціювання використовують позначення Δ , за якого

$$(\Delta Y)_t = Y_t - Y_{t-1}.$$

При цьому змінна $Y_t \in I(d)$, якщо $(\Delta^d Y)_t$ є стаціонарним процесом.

Однаковий порядок інтеграції ендогенних змінних є першим сигналом до можливої наявності довгострокового зв'язку між змінними – *коінтеграції*. Наявність коінтеграції передбачає, що лінійна комбінація часових рядів є стаціонарною, а отже врахування такого зв'язку в моделі може зберегти важливу інформацію в рівнях змінних, тобто:

$Y_t = (Y_{t1}, Y_{t2}, \dots, Y_{tj})$; $Y_{t1} \sim I(1)$, $Y_{t2} \sim I(1)$ – процеси стаціонарні в перших різницях, а їх лінійна комбінація

$$b_t = AY_t = \sum_{i=1}^k a_i Y_{ti} \sim I(0) \text{ – стаціонарна в рівнях.}$$

Наявність довгострокової рівноваги передбачає врахування в кожному рівнянні моделі коінтеграційного многочлена, а коефіцієнт перед ним можна інтерпретувати як швидкість повернення змінної до довгострокової рівноваги.

Після підготовки часових рядів та зведення їх до стаціонарного вигляду наступний етап побудови VAR моделі передбачає визначення її специфіки та оцінку коефіцієнтів.

Ефективність економіко-математичного моделювання значно підвищується при використанні спеціальних алгоритмів, реалізованих у комп'ютерних програмах. У процесі побудови моделі з використанням таких алгоритмів передбачається врахування істотних особливостей прогнозованих

економічних ситуацій. Зміна чинників за допомогою регулювання параметрів програм дозволяє вибрати оптимальний варіант на основі порівняльного аналізу результативних ознак.

2.2. FCVAR модель, її специфіка та тестування

Прикладом економіко-математичної моделі, яка використовується при економетричному аналізі є FCVAR модель науковців Йохансена [42] та Нільсена [44], яка була використана в даній роботі при дослідженні та оцінці високих/низьких спредів і спредів закриття/відкриття для дорогоцінних металів та сортів нафти на біржі.

Модель FCVAR є відносно новим методом у літературі. Вона узагальнює коінтегровану векторну авторегресійну модель (CVAR) Йохансена [43], що дозволяє розглядати дробово інтегровані часові ряди, які коінтегруються до нижчого (дробового) порядку.

Асимптотична теорія для оцінки та виведення в моделі FCVAR була розроблена та опублікована в серії статей науковців Йохансена і Нільсена [45] [44]. Наводяться асимптотичні розподіли для оцінок максимальної правдоподібності та для коефіцієнта правдоподібності коінтеграційного рангу.

Крім того, Нільсен і Попіль [59] розробили супутні комп'ютерні програми у середовищі Matlab для розрахунку оціночних і тестових статистик, а Маккінон і Нільсен [53] розробили комп'ютерні програми для розрахунку p-value і критичних значень для cointegration rank test. Усі ці внески означають, що FCVAR модель тепер є повноцінною та готова до повного емпіричного застосування.

Модель FCVAR має багато переваг при оцінці системи змінних величин дробових часових рядів, які потенційно коінтегруються. Гнучкість моделі дозволяє визначити коінтеграційний ранг, або кількість рівноважних відносин, через статистичні тести, а також спільно оцінити коригувальні коефіцієнти та коінтеграційні відносини, враховуючи короткострокову динаміку. Кожна з цих функцій буде, як правило, актуальною для дослідницького питання в емпіричній

роботі. Крім того, методологія дозволяє коінтегрувати більше двох змінних, що робить її привабливою для використання.

Вказані особливості мають певну актуальність для нашого дослідження. Наприклад, коінтеграційний ранг - це кількість довгострокових рівноваг, які існують між високими/низькими цінами та цінами відкриття/закриття, а коінтегруючі відносини є лінійними комбінаціями цих змінних.

Найбільш важливими параметрами для аналізу є коригувальні коефіцієнти, які вказують, як змінні пристосовуються до змін рівноваги, і тому вони є інформативними при дослідженні цін.

Модель FCVAR узагальнює концепцію коінтеграції і, зокрема, узагальнює коінтегровану VAR (CVAR) модель Йохансена [43] до дробово інтегрованих часових рядів, тому вона дозволяє оцінити довготривалі співвідношення рівноваги між дробовими часовими рядами.

Дробово інтегровані моделі часових рядів базуються на операторі дробового диференціювання,

$$\Delta^d >_t = \sum_{n < B}^A \pi_n (-d) >_{t+n}, \quad (2.1)$$

$$\text{де дробові коефіцієнти } \pi_n(u) = \frac{D(D-E-1) \dots (D-EG+1)}{G!} \quad (2.2)$$

При визначенні оператора дробового диференціювання в (2.1) часовий ряд $>_t$ називається дробовим порядку d , та позначається як $>_t \in I(d)$, якщо $\Delta^d >_t$ є дробовим нульового порядку, тобто якщо $\Delta^d >_t \in I(0)$.

Модель FCVAR має ряд переваг та функцій, які вона поділяє з моделлю CVAR:

- допускає статистичні випробування для визначення того, скільки існують довготривалі рівноважні відносини;
- дозволяє одночасне моделювання довгострокових рівноваг, корегування відповідей на відхилення від рівноваги системи.

Специфіка FCVAR моделі. Для побудови FCVAR моделі використовуємо коінтегровану векторну авторегресію (CVAR) моделі Йохансена [42]. Дотримуючись визначення Долатабаді [35], модель CVAR може бути представлена для часового ряду Y_t , який є p -вимірним нестационарним, $I(0)$, наступним чином:

$$(Y_t = \alpha \beta Y_{t+1} + \sum_{i=1}^k \Gamma_i \Delta Y_{t+i} + \epsilon_t = \alpha \beta^L Y_t + \sum_{i=1}^k \Gamma_i \Delta L^i Y_t + \epsilon_t), \quad (2.3)$$

$$\text{де } L = 1 - \Delta \quad (2.4)$$

Замінюючи різницю Δ та лаг $L = 1 - \Delta$ на дробові еквіваленти Δ^b та $L_b = 1 - \Delta^b$, можливо вивести FCVAR модель для $\Delta^b Y_t$ таким чином:

$$(\Delta^b Y_t = \alpha \beta L_b Y_t + \sum_{i=1}^k \Gamma_i (\Delta^b L_b)^i Y_t + \epsilon_t) \quad (2.5)$$

Та для $Y_t = \Delta^{d+b} Y_t$ FCVAR модель має такий вигляд:

$$(\Delta^{d+b} Y_t = \alpha \beta L_b (\Delta^{d+b} Y_t) + \sum_{i=1}^k \Gamma_i (\Delta^{d+b} L_b)^i Y_t + \epsilon_t) \quad (2.6)$$

Крім того, існує модель CVAR з так званим терміном "обмежена константа" в формі виправлення помилок:

$$(Y_t = \alpha (\beta^L Y_{t+1} + \rho^L) + \sum_{i=1}^k \Gamma_i \Delta Y_{t+i} + \epsilon_t = \alpha L (\beta^L Y_t + \rho^L) + \sum_{i=1}^k \Gamma_i L^i \Delta Y_t + \epsilon_t) \quad (2.7)$$

Для $Y_t = \Delta^{d+b} Y_t$, замінюючи різницю Δ та лаг $L = 1 - \Delta$ на дробові еквіваленти Δ^b та $L_b = 1 - \Delta^b$, FCVAR модель для $\Delta^b Y_t$ має такий вигляд:

$$(\Delta^{d+b} Y_t = \alpha \Delta^{d+b} L_b (\beta^L Y_t + \rho^L) + \sum_{i=1}^k \Gamma_i (\Delta^{d+b} L_b)^i Y_t + \epsilon_t) \quad (2.8)$$

Деякі з параметрів у моделі FCVAR є добре відомими параметрами моделі CVAR, вони мають звичайні інтерпретації також у моделі FCVAR. Найбільш важливими є довгострокові параметри α і β , які є $p \times r$ матрицями з $0 \leq r \leq p$. Стовпці β утворюють такі коінтегруючі вектори, що $\beta' Y_t$ є стаціонарними лінійними комбінаціями змінних у системі, тобто довготривалими рівноважними відносинами.

Параметри в α - це коефіцієнти коригування або навантаження, які представляють швидкість коригування в бік рівноваги для кожної із змінних.

Короткострокова динаміка змінних регулюється параметрами ГУ в авторегресивному збільшенні.

На відміну від моделі CVAR, модель FCVAR враховує також параметри: d - дробовий параметр інтегрування, b - ступінь дробової коінтеграції. Параметр b показує потужність коінтеграційних зв'язків і називається також коінтеграційним розривом (gap проміжок).

У моделі FCVAR $>_t$ є фрактальним порядку d і кофрактальним порядку $(d - b)$, і тому $\beta' >_t$ буде фрактальним порядку $d(-b \geq 0)$ [52]. Більше значення в b вказує на меншу персистенцію (залишки) в цьому взаємозв'язку. Для $(d = b = 1)$ модель FCVAR зводиться до моделі CVAR [35].

З рівняння (2.6) видно, що параметр d грає дуже важливу роль у визначенні ступеня асоціації між часовими рядами Y_t і їх лаговими значеннями. Значення дробового d має привабливий економічний сенс.

Якщо $0 < d < 0,5$, то досліджуваний процес – стаціонарний з довгою пам'яттю та стійкою автокореляцією.

Якщо d лежить в інтервалі $0,5 < d < 1$, то процес часових рядів не є коваріаційним стаціонарним, а означає повернення (reverting).

Якщо $d \geq 1$, часовий ряд є нестаціонарним з невідповідним поверненням (non-mean reverting), тобто вплив шоків на ряди зберігається нескінченно довго. Отже, чим вище значення d , тим більше зберігаються шоки на часових рядах.

Обмежена константа ρ інтерпретується як середній рівень довгострокової рівноваги $\beta' >_t$, коли вони є стаціонарними. Короткострокова динаміка змінних регулюється параметрами $(\Gamma_1, \dots, \Gamma_k)$ в авторегресійному збільшенні.

Зауважимо, що дробове диференціювання, визначене у рівнянні (2.1), є нескінченним рядом, але будь-яка спостережувана вибірка буде включати лише скінченне число спостережень. Це робить неможливим розрахунок дробового диференціювання, визначеного у рівнянні (2.1). Отже, на практиці підсумовування у рівнянні (2.1) потрібно буде урізати при $n = t - 1$, а зміщення, введене при застосуванні такого скорочення, аналізується Йохансеном і Нільсеном [46], використовуючи розширення вищих порядків у

більш простій моделі. Вони показують, хоч і в більш простій моделі, що цей ухил можна уникнути, включивши параметр рівня μ , який змінює кожен ряд на константу:

$$\hat{y}_t = \hat{y}_t^B + \mu \quad (2.9),$$

$$\alpha \Delta^{d+b} \hat{y}_t^B = \beta \Delta^b \hat{y}_t^B + \sum_{\rho < 1}^k \Gamma_i \Delta^{\rho} \hat{y}_t^B + \mu \quad (2.10)$$

Звідси FCVAR модель набуває вигляду:

$$\Delta^d (\hat{y}_t - \mu) = \alpha \Delta^{d+b} \beta \Delta^b (\hat{y}_t - \mu) + \sum_{\rho < 1}^k \Gamma_i \Delta^{\rho} (\hat{y}_t - \mu) + \mu \quad (2.11)$$

Таким чином, існує чотири варіанти моделі FCVAR:

1. FCVAR_{d,b, ρ} : модель (2.8) з обмеженою константою ρ і дробовими параметрами d і b ;
2. FCVAR_{d,b, μ} : модель (2.11) з параметром рівня μ і дробовими параметрами d і b ;
3. FCVAR_{d=b, ρ} : модель (2.8) з обмеженою константою ρ і дробовими параметрами $d = b$;
4. FCVAR_{d=b, μ} : модель (2.11) з параметром рівня μ і дробовими параметрами $d = b$.

Отже, модель FCVAR має таку ж основну структуру, що і стандартна модель CVAR, оскільки вона дозволяє моделювати як коінтеграцію, так і коригування до рівноваги, але є більш загальною, оскільки вона враховує фрактальну інтеграцію та коінтеграцію.

Тестування на дробову інтеграцію. Щоб з'ясувати, чи є FCVAR релевантною моделлю для обраних даних, перевіряється особливість довгої пам'яті (фрактальні процеси) обраного часового ряду методами Hurst і DFA. Методи Hurst та DFA є напівпараметричними методами і дають коефіцієнт Херста – H . Крім того, будується мультифрактальний спектр для вхідних даних, з метою виявлення наявності моно/мультифрактальності. За наявності мультифрактальності FCVAR модель є доцільною для використання.

« H » -це вимірювання великого діапазону залежності в часових рядах. Для даного значення H між 0.5 і 1 серія має довгу пам'ять та автоковаріація розпадається гіперболічно. У випадку, коли значення H знаходиться між 0 і 0.5, процес має коротку пам'ять і передбачає повернення значень. Для $H = 0.5$, часові ряди відображають випадкові коливання (random walk behavior) [54]. Як стверджують Зівот і Ванг [77], метод Hurst [40], який також називають R/S -аналізом, є діапазоном часткових сум відхилень часових рядів від їх значень, масштабованого його квадратним коренем дисперсії.

Проте метод DFA, який представлений Пенгом [61], дотримується іншої процедури. У цьому методі вся серія N розділена на N / l неперекриваючі коробки (nonoverlapping boxes), і для кожної з них обчислюється локальний тренд. Наступним кроком є визначення поняття “detrended walk” для виявлення різниці між оригінальними інноваціями та місцевими інноваціями.

Середня дисперсія $F_d^1(l)$ досягається з дисперсією про “detrended walk” в кожній коробці, яка має розмір l . Як вважає Бальє [26], за допомогою рівняння $d = H - 0.5$, можливо перетворити коефіцієнт Херста на фракційну (дробову) різницю d . Розглядаючи це співвідношення, розраховуються значення H , використовуючи Matlab коди Верона [73][74].

Крім того, часовий ряд може мати властивості монофрактала або мультифрактала. Монофрактал – це часовий ряд, який на різних проміжках характеризується однаковим коефіцієнтом масштабування. Мультифрактал – це комплекс фракталів, що змінюють один одного на різних проміжках із зміною скейлінгового параметру масштабування [11]. Для визначення, яким саме є часовий ряд, використовують мультифрактальний аналіз з використанням мультифрактального спектру. Мультифрактальний спектр являє собою співвідношення флуктуаційних функцій часових рядів та відповідних значень коефіцієнту Херста. Флуктуаційні функції монофрактальних часових рядів паралельні між собою, інтервал зміни коефіцієнту Херста близький до нуля, а спектр сингулярності наближається до ідеального у вигляді точки. Для мультифрактальних часових рядів флуктуаційні функції уже не паралельні між

собою, коефіцієнт Херста змінюється в значних межах, а мультифрактальний спектр має параболічний вигляд, за якого загальне значення коефіцієнта Херста для всього часового ряду є точкою максимума даної кривої[11]. Якщо часові ряди є мультифрактальними, це означає, що часовий ряд містить у собі цілий комплекс фрактальних властивостей. А отже, FCVAR модель є доцільною для обраних часових рядів.

Прогнозування за моделлю FCVAR. Оскільки модель FCVAR є авторегресивною, найкращий лінійний предиктор приймає просту форму і є досить простим для обчислення. Спочатку розглянемо формулу використаної FCVAR моделі (FCVAR_{d=b,μ}: модель (2.11) з параметром рівня μ і дробовими параметрами $d = b$), у якій виражаємо ($d(>_{tE1} - \mu)$):

$$L_d(>_{tE1} - \mu) = >_{tE1} - \mu - (>_{tE1} - \mu) + ({}^d L_b (>_{tE1} - \mu)) = >_{tE1} - \mu - L_d(>_{tE1} - \mu) \quad (2.12)$$

Далі виражаємо $>_{tE1}$:

$$>_{tE1} = \mu + L_d (>_{tE1} - \mu) + \alpha \beta^L \Delta^{d+b} L_b (>_{tE1} - \mu) + \sum_{\theta < 1}^k \Gamma_i ({}^d L_b^{\theta} (>_{tE1} - \mu)) + \mathfrak{b}_{tE1} \quad (2.13)$$

Так як $L_b = 1 - \Delta^b$ виступає в ролі лагового оператора, тож значення виразу $L_b^{\theta} >_{tE1}$ відоме у момент часу t для $\theta \geq 1$, тому це рівняння може бути використане як основа для обчислення прогнозів за моделлю FCVAR.

Позначимо умовне очікування з урахуванням інформації, встановленої в момент часу t як $E_t(\cdot)$. Позначимо найкращий лінійний предиктор прогнозу будь-якої змінної Z_{tE1} з урахуванням інформації, встановленої в момент часу t як $Z_{tE1|\hat{t}} = E_t(Z_{tE1})$. Зрозуміло, що тоді ми маємо, що прогноз на період $t + 1$ в момент часу t , що дорівнює $\mathfrak{b}_{tE1|t} = E_t(\mathfrak{b}_{tE1})=0$, тоді $\hat{>}_{tE1|t}$ легко знайти з рівняння (2.13). Включаючи також коефіцієнти оцінки на основі даних доступних у момент часу t , позначені як $(\hat{d}, \hat{b}, \hat{\mu}, \hat{\alpha}, \hat{\beta}, \hat{\Gamma}_1, \dots, \hat{\Gamma}_k)$ ми отримуємо:

$$\hat{>}_{tE1|t} = \hat{\mu} + L_{\hat{d}} (>_{tE1} - \hat{\mu}) + \hat{\alpha} \hat{\beta}^L ({}^{\hat{d}+\hat{b}} L_{\hat{b}} (>_{tE1} - \hat{\mu})) + \sum_{\theta < 1}^k \hat{\Gamma}_{\theta} ({}^{\hat{d}} L_{\hat{b}}^{\theta} (>_{tE1} - \hat{\mu})) \quad (2.14)$$

Це визначає прогноз на 1 крок вперед для \hat{y}_{tE1} , використовуючи задану інформацію в момент часу t .

Прогнози на багато періодів вперед можуть формуватися рекурсивно. Тобто для обчислення прогнозу на h – кроків вперед, необхідно спочатку узагальнити (2.14) як:

$$\hat{y}_{tEj|t} = \hat{\mu} + L_{\hat{a}}(\hat{y}_{tEj|t} - \hat{\mu}) + \hat{\alpha}\hat{\beta}^L ({}^{\hat{a}+\hat{b}}L_{\hat{b}}(\hat{y}_{tEj|t} - \hat{\mu}) + \sum_{q < 1}^k \hat{\Gamma}_q ({}^{\hat{a}}L_{\hat{b}}^q(\hat{y}_{tEj|t} - \hat{\mu})) \quad (2.15)$$

де $\hat{y}_{s|t} = y_s$ для $s \leq t$. Тоді прогнози розраховуються рекурсивно з (2.15) для $s = 1, 2, \dots, h$, щоб згенерувати h – кроковий прогноз $\hat{y}_{tEw|t}$.

Для FCVAR моделі (2.8) з обмеженою константою ρ замість параметру рівня μ прогноз обчислюється аналогічно.

В нашому дослідженні, використовуючи коди Матлаб, будуються рекурсивні прогнози на крок вперед для «hl» спредів та «so» спредів.

Використовуючи коди Матлаб не передбачено виведення похибок прогнозування.

Симуляція (імітування) моделі FCVAR. Імітаційне моделювання FCVAR – це ще один метод, який можна застосувати для моделювання та визначення майбутніх значень «hl» спредів та «so» спредів. Модельовані дані генеруються за допомогою Матлаб функції “FCVARsim”, розробленої Нільсеном та Попілем[59], яка імітує FCVAR модель використовуючи нормальний розподіл (Gaussian Error Function).

РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ «HL» СПРЕДІВ І «CO» СПРЕДІВ ДЛЯ ДОРОГОЦІННИХ МЕТАЛІВ ТА НАФТИ, ВИКОРИСТОВУЮЧИ FCVAR МОДЕЛЬ

3.1. Аналіз вхідних даних для дорогоцінних металів та нафти

База даних та графічний аналіз змін цін на дорогоцінні метали та нафту. У цьому дослідженні було впроваджено модель дробово коінтегрованої векторної авторегресії для оцінки високих/низьких спредів і спредів закриття/відкриття (далі по тексту «hl» спреди та «co» спреди) в процесі біржової торгівлі для таких дорогоцінних металів: золото, паладій, срібло, платина, та сортів нафти: Brent та WTI.

В емпіричному аналізі досліджується вплив щоденних «hl» спредів на «co» спреди для дорогоцінних металів та сортів нафти. Всі дані отримані з офіційного сайту інформаційно-аналітичного агентства FINAM, яке надає статистичні дані стосовно світових цін на активи на біржових торгах[12], а саме: ціни відкриття на активи; ціни закриття на активи; мінімальні ціни на активи; максимальні ціни на активи. Для якісного та повноцінного аналізу було обрано щоденні дані на великому часовому проміжку – з 10.01.2008 по 10.01.2022 для вищезазначених дорогоцінних металів та сортів нафти; кількість вхідних даних коливається у діапазоні від 4,3 тисяч до 4,5 тисяч одиниць. Емпіричний аналіз проводився за допомогою пакетів кодів Нільсена і Попеля[59] та Рінеландера [64] у комп'ютерній програмі Matlab. Дослідження здійснювалося для усіх чотирьох варіантів FCVAR моделі, з метою обрання найкращої. На рис. 3.1. а)-е) проілюстровано щоденні розкиди даних «hl» спредів та «co» спредів для дорогоцінних металів та сортів нафти; вісь ординат відображає відповідно величини «hl» спредів та «co» спредів, одиниці виміру - долар США; вісь абсцис відображає щоденні відліки часових рядів. Графіки щоденних розкидів даних свідчать про досить великі коливання у «hl» спредах та «co» спредах. Величина «hl» спредів завжди більше нуля, адже це - різниця між щоденною максимальною та мінімальною ціною на актив. Величина «co» спредів може мати як позитивне

значення (тобто ціна закриття більше ціни відкриття), так і негативне значення (тобто ціна закриття менше ціни відкриття).

Умовні позначення:

— hl – це (*high price – low price*) високі/низькі спреди.

— co – це (*close price – open price*) спреди закриття/ відкриття.

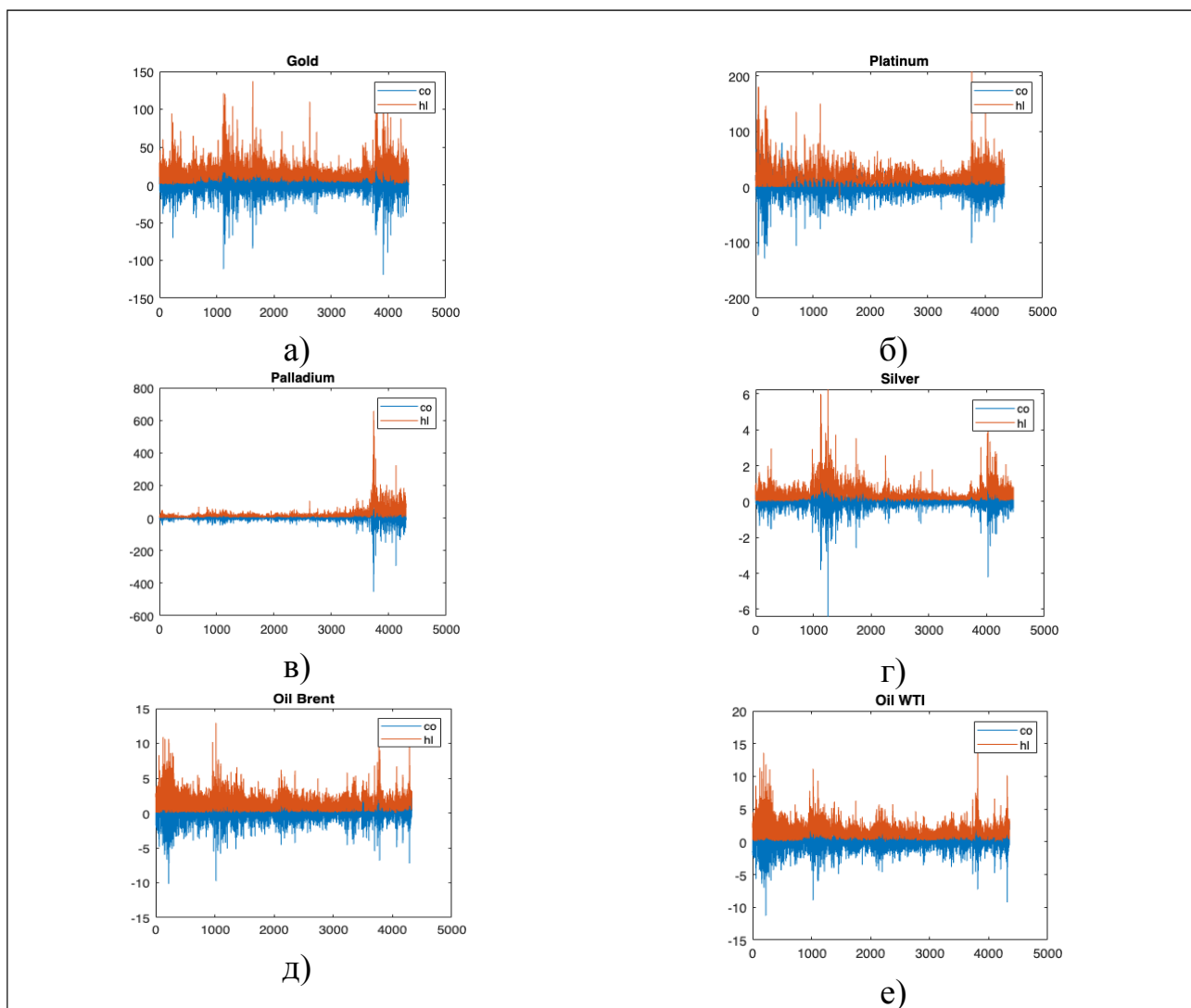


Рис. 3.1. Щоденні розкиди даних для: а)золота, б)платини, в)паладію г)срібла, д)нафти сорту Brent, е) нафти сорту WTI.

Джерело: розроблено автором.

Перевірка часових рядів на фрактальність. Першим кроком дослідження є перевірка вхідних даних на дробову інтеграцію за допомогою аналізу Hurst, DFA (detrended fluctuation analysis) та мультифрактального аналізу, щоб дізнатися, чи є FCVAR відповідною моделлю для подальшої роботи. Отримані результати наведено у табл. 3.1.

У табл. 3.1 другий, третій та шостий стовпчики представляють коефіцієнт H , отриманий на підставі трьох різних аналізів (аналізу Hurst, DFA та мультифрактального аналізу відповідно). Дробовий параметр d знаходиться в четвертому та п'ятому стовпчиках для кожного одновимірного часового ряду. З табл. 3.1 випливає той факт, що оцінки d для «hl» спредів більше, ніж для «co» спредів.

Розглянемо це на прикладі золота, провівши Hurst analysis: порівнюємо значення $Hurst - d$ для «hl» спредів (Gold-hl) та для «co» спредів (Gold-co). Як бачимо $0.4608(Gold - hl) > 8.8329e - 04(Gold - co)$, отже оцінка d для «hl» спредів більше, ніж для «co» спредів. Аналогічно – для DFA.

У деяких моделях, де «co» спреди мають довгу пам'ять, «hl» спреди демонструють нестационарні процеси. Крім того, оскільки всі дробові параметри d знаходяться в діапазоні від 0 до 1, можна сказати, що всі «hl» спреди і «co» спреди є фрактально інтегрованими. У зв'язку з тим, що довга пам'ять і дробова інтеграція є закономірностями, що спостерігаються в досліджуваних змінних, як запропонував Масьел [\[52\]](#), традиційний коінтеграційний аналіз не був би задовільним для пояснення довготривалих відносин у аналізованій моделі.

Тестування вхідних даних на дробову інтеграцію

	Hurst-H	DFA-H	Hurst-d	DFA-d	Multifractal- H
Gold-co	0.5009	0.5042	8.8329e-04	0.0042	0.2718
Gold-hl	0.9608	0.9730	0.4608	0.4730	0.3256
Silver-co	0.5523	0.5525	0.0523	0.0525	0.2845
Silver-hl	1.0383	1.0334	0.5383	0.5334	0.2994
Platinum-co	0.5356	0.5632	0.0356	0.0632	0.1582
Platinum-hl	0.8646	0.9079	0.3646	0.4079	0.1732
Palladium-co	0.5026	0.5107	0.0026	0.0107	0.1482
Palladium-hl	0.9945	1.0438	0.4945	0.5438	0.1454
Oil Brent-co	0.6122	0.5769	0.1122	0.0769	0.1969
Oil Brent-hl	0.9399	0.9501	0.4399	0.4501	0.2097
Oil WTI-co	0.5783	0.5609	0.0783	0.0609	0.2264
Oil WTI-hl	0.9574	0.9569	0.4574	0.4569	0.1656

Джерело: розроблено автором на основі часових рядів цін на дорогоцінні метали та нафту та використання кодів Matlab.

При проведенні мультифрактального аналізу було побудовано мультифрактальний спектр з метою визначення значення коефіцієнта Херста для «hl» спредів та «co» спредів усіх досліджуваних дорогоцінних металів та сортів нафти. Графічне зображення побудованого мультифрактального спектру наведено на рис. 3.2. а)-е). Так як побудований мультифрактальний спектр для усіх дорогоцінних металів та сортів нафти має параболічний вигляд, це свідчить про те, що часові ряди є мультифрактальними. А отже, FCVAR модель є релевантною для обраних часових рядів.

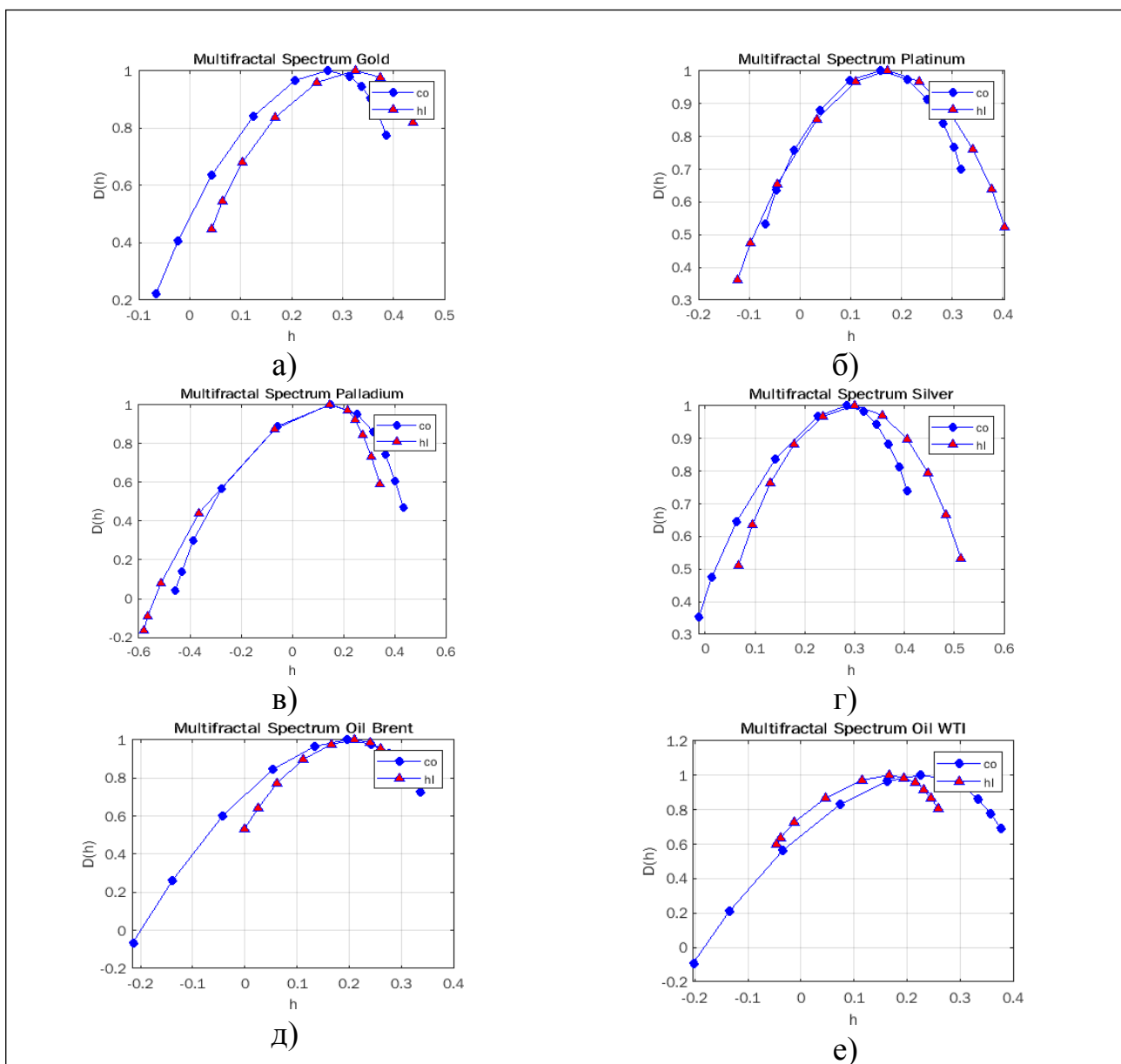


Рис. 3.2. Мультифрактальний спектр для: а)золота, б)платини, в)паладію г)срібла, д)нафти сорту Brent, е) нафти сорту WTI.

Джерело: розроблено автором.

Провівши тестування на дробову інтеграцію та визначивши, що модель FCVAR є допустимою для дослідження «*hl*» спредів та «*co*» спредів, переходимо до більш детального аналізу вищезазначених показників шляхом тестування та аналізу FCVAR моделі.

3.2. Дослідження FCVAR моделей

Подальший аналіз буде проведено для 4 варіантів FCVAR моделі:

1. FCVAR_{d,b,ρ}: модель (2.8) з обмеженою константою ρ і дробовими параметрами d і b ;
2. FCVAR_{d,b,μ}: модель (2.11) з параметром рівня μ і дробовими параметрами d і b ;
3. FCVAR_{d=b,ρ}: модель (2.8) з обмеженою константою ρ і дробовими параметрами $d = b$;
4. FCVAR_{d=b,μ}: модель (2.11) з параметром рівня μ і дробовими параметрами $d = b$.

Дослідження моделі FCVAR_{d,b,ρ}

Тестування моделі FCVAR_{d,b,ρ}. Першим кроком визначаємо лаг системи для FCVAR моделі; початково застосовуємо $k = 3$ як значення лагу.

Тестуючи значущість коефіцієнта вищого порядку лагу, використовуючи коефіцієнт правдоподібності (likelihood ratio (LR) test), поступово переходимо до більш низького лагового рівня, і на основі отриманих результатів (якщо нульова гіпотеза не відхиляється), знижуючи лаг найвищого порядку, переходимо до наступної моделі.

Провівши likelihood ratio test, було отримано певні результати, які наведено у табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Тестування моделей на значущість коефіцієнта вищого порядку лагу

	k	r	d	b	Log-likelihood	LR	p value	AIC	BIC
Model for Gold	3	2	0.010	0.010	-34187.52	6.43	0.169	68415.04	68542.61
	2	2	0.633	0.010	-34190.74	44.31	0.000	68413.47*	68515.52*
	1	2	0.010	0.010	-34212.89	70.42	0.000	68449.78	68526.31
	0	2	0.143	0.010	-34248.10	0.00	0.000	68512.20	68563.22
Model for Silver	3	2	0.010	0.446	-3836.18	12.69	0.013	7712.37*	7840.45
	2	2	0.020	0.162	-3842.53	12.42	0.015	7717.06	7819.53
	1	2	0.011	0.010	-3848.74	102.60	0.000	7721.48	7798.33*
	0	2	0.223	0.010	-3900.04	0.00	0.000	7816.08	7867.31
Model for Platinum	3	2	0.847	0.617	-36217.03	20.52	0.000	72474.06*	72601.54
	2	2	0.756	0.538	-36227.29	29.75	0.000	72486.57	72588.56
	1	2	0.559	0.417	-36242.16	90.41	0.000	72508.33	72584.81*
	0	2	0.490	0.011	-36287.37	0.00	0.000	72590.73	72641.72
Model for Palladium	3	2	0.010	0.010	-39139.37	33.88	0.000	78318.75*	78446.07*
	2	2	0.010	0.010	-39156.32	43.09	0.000	78344.63	78446.49
	1	2	0.010	0.010	-39177.86	39.72	0.000	78379.72	78456.12

	k	r	d	b	Log-likelihood	LR	p value	AIC	BIC
	0	2	0.257	0.501	-39197.72	0.00	0.000	78411.44	78462.37
Model for Oil Brent	3	2	0.010	0.010	-14057.00	-19.13	1.000	28153.99	28281.43
	2	2	0.695	0.031	-14047.43	67.86	0.000	28126.86*	28228.82*
	1	2	0.635	0.061	-14081.36	92.68	0.000	28186.72	28263.19
	0	2	0.382	0.010	-14127.70	0.00	0.000	28271.40	28322.38
Model for Oil WTI	3	2	0.010	0.010	-14159.94	-29.34	1.000	28359.87	28487.45
	2	2	0.693	0.027	-14145.27	77.90	0.000	28322.53*	28424.59*
	1	2	0.625	0.044	-14184.22	109.61	0.000	28392.43	28468.98
	0	2	0.377	0.010	-14239.02	0.00	0.000	28494.05	28545.07

Джерело: розроблено автором на основі часових рядів цін на дорогоцінні метали та нафту та використання кодів Matlab.

Як видно з табл. 3.2, одержано шість оцінок у відповідних лагових рівнях для кожної змінної. Крім того, поряд з показниками AIC та BIC існують позначення «*», що вказує на найкращі (тобто мінімізовані) значення відповідних критеріїв інформації.

Якщо $d = 0.01$ - це означає, що коефіцієнт лагу вищого порядку є значним на рівні довіри 99%, тому для даної моделі неможливо знижувати лаг вищого порядку для знаходження найкращого. Моделі є адекватними при значенні показника $d > 0.01$, при цьому відбувається пониження лагового рівня системи [47]. Отримані дані в табл. 3.2 показують, що лише для моделі платини значення $d > 0.01$, тому ця модель є адекватною та її лаговий рівень було понижено до $k = 2$ при проведенні Likelihood ratio test. Для моделі золота, срібла, паладію та сортів нафти Brent та WTI $d = 0.01$, отже ці моделі не є адекватними для нашого подальшого дослідження.

При визначенні найкращого рівня лагу для кожної моделі наступний крок полягає у виборі відповідного рангу, який є числом коінтегрованих векторів у системі. Перевіряємо таку гіпотезу щодо рангу системи:

- $H_0: rank = r$
- $H_1: rank = p,$

де $r = 0,1,2, \dots$ і p - кількість змінних в системі.

Результати LR Tests for Cointegrating Rank наведено у табл. 3.3.

Як видно з табл. 3.3. для платини значення p-value не виводяться системою, що свідчить про неможливість визначення наявності коінтегрованих векторів у відповідній моделі, тож подальше дослідження є неможливим.

Отже, модель $FCVAR_{d,b,p}$ не доцільно використовувати для аналізу спредів.

Тестування моделей на значущість коефіцієнта вищого порядку лагу для
коінтеграційного рангу

	Rank	d	b	Log-likelihood	LR statistic	p value
Model for Platinum	0	0.010	0.010	-36273.193	91.811	----
	1	0.369	0.010	-36219.863	-14.850	----
	2	0.756	0.538	-36227.287	----	----

Джерело: розроблено автором на основі часових рядів цін на дорогоцінні метали та нафту та використання кодів Matlab.

Дослідження моделі $FCVAR_{d=b,p}$

Аналіз $FCVAR_{d=b,p}$ моделі здійснюється в тому ж порядку, що і для попередньої $FCVAR_{d,b,p}$ моделі. Результати тестування моделі $FCVAR_{d=b,p}$ на значущість коефіцієнта вищого порядку лагу наведено у табл. 3.4.

Отримані дані в табл. 3.4 показують, що для моделі платини значення $d > 0.01$, тому ця модель є адекватною та її лаговий рівень було понижено до $k = 2$ при проведенні Likelihood ratio test. Для моделі золота, срібла, паладію та сортів нафти Brent та WTI $d = 0.01$, отже ці моделі не є адекватними для нашого подальшого дослідження.

Результати тестування моделі на значущість коефіцієнта вищого порядку лагу для коінтеграційного рангу наведено у табл. 3.5 та свідчать, що в моделі для платини відкидаємо $Rank = 0$ з значенням p-value 0.000 і приймаємо $Rank = 1$. Ці результати показують, що в цій системі є один коінтегрований вектор.

Отже, модель $FCVAR_{d=b,p}$ не доцільно використовувати для аналізу спредів, адже вона задовольняє умовам лише для одного виду металу (платини) з шести об'єктів дослідження.

Таблиця 3.4

Тестування моделей на значущість коефіцієнта вищого порядку лагу

	k	r	d	b	Log-likelihood	LR	p value	AIC	BIC
Model for Gold	3	2	0.010	0.010	-34187.52	7.60	0.107	68413.04	68534.23
	2	2	0.109	0.109	-34191.32	43.13	0.000	68412.64*	68508.31*
	1	2	0.010	0.010	-34212.89	74.26	0.000	68447.78	68517.94
	0	2	0.212	0.212	-34250.02	0.00	0.000	68514.03	68558.68
Model for Silver	3	2	0.010	0.010	-3841.95	1.40	0.843	7721.90	7843.58
	2	2	0.079	0.079	-3842.65	12.17	0.016	7715.31*	7811.37
	1	2	0.010	0.010	-3848.74	113.77	0.000	7719.48	7789.92*
	0	2	0.308	0.308	-3905.62	0.00	0.000	7825.25	7870.07
Model for Platinum	3	2	0.311	0.311	-36218.84	11.62	0.020	72475.68*	72596.79
	2	2	0.191	0.191	-36224.65	81.72	0.000	72479.30	72574.91*
	1	2	0.010	0.010	-36265.51	64.81	0.000	72553.02	72623.13
	0	2	0.232	0.232	-36297.91	0.00	0.000	72609.83	72654.45
Model for Palladium	3	2	0.010	0.010	-39139.37	33.88	0.000	78316.75*	78437.71*
	2	2	0.010	0.010	-39156.32	43.09	0.000	78342.63	78438.13
	1	2	0.010	0.010	-39177.86	58.16	0.000	78377.72	78447.75

	k	r	d	b	Log-likelihood	LR	p value	AIC	BIC
	0	2	0.193	0.193	-39206.94	0.00	0.000	78427.89	78472.45
Model for Oil Brent	3	2	0.010	0.010	-14057.00	23.40	0.000	28151.99*	28273.06
	2	2	0.061	0.061	-14068.69	117.58	0.000	28167.39	28262.97*
	1	2	0.010	0.010	-14127.48	53.84	0.000	28276.96	28347.06
	0	2	0.141	0.141	-14154.40	0.00	0.000	28322.80	28367.41
Model for Oil WTI	3	2	0.010	0.010	-14159.94	17.39	0.002	28357.87*	28479.07
	2	2	0.044	0.044	-14168.63	123.66	0.000	28367.26	28462.94*
	1	2	0.010	0.010	-14230.46	48.73	0.000	28482.92	28553.09
	0	2	0.141	0.141	-14254.83	0.00	0.000	28523.66	28568.31

Джерело: розроблено автором на основі часових рядів цін на дорогоцінні метали та нафту та використання кодів Matlab.

Тестування моделей на значущість коефіцієнта вищого порядку лагу для
коінтеграційного рангу

	Rank	d	b	Log-likelihood	LR statistic	p value
Model for Platinum	0	0.010	0.010	-36273.193	97.087	0.000
	1	0.184	0.184	-36227.663	6.028	0.014
	2	0.191	0.191	-36224.649	----	----

Джерело: розроблено автором на основі часових рядів цін на дорогоцінні метали та нафту та використання кодів Matlab.

Дослідження моделі $FCVAR_{d,b,\mu}$

Аналіз $FCVAR_{d,b,\mu}$ моделі здійснюється в тому ж порядку, що і для попередньої $FCVAR_{d=b,\rho}$ моделі.

Результати тестування моделі $FCVAR_{d,b,\mu}$ на значущість коефіцієнта вищого порядку лагу наведено у табл. 3.6.

Отримані дані в табл. 3.6 показують, що для моделі золота, платини, паладію, сортів нафти Brent та WTI значення $d > 0.01$, тому ці моделі є адекватними та їх лаговий рівень було понижено до $k = 2$ при проведенні Likelihood ratio test. Для моделі срібла $d = 0.01$, отже ця модель не є адекватною для нашого подальшого дослідження.

Результати тестування моделей на значущість коефіцієнта вищого порядку лагу для коінтеграційного рангу наведено у табл. 3.7 та свідчать, що в усіх моделях значення p-value не виводяться системою, що свідчить про неможливість визначення наявності коінтегрованих векторів в моделях, тож подальше дослідження є неможливим.

Отже, модель $FCVAR_{d,b,\mu}$ не доцільно використовувати для аналізу спредів.

Таблиця 3.6

Тестування моделей на значущість коефіцієнта вищого порядку лагу

	k	r	d	b	Log-likelihood	LR	p value	AIC	BIC
Model for Gold	3	2	0.417	0.013	-34166.58	30.65	0.000	68373.16*	68500.73
	2	2	0.458	0.395	-34181.91	35.00	0.000	68395.82	68497.87*
	1	2	0.010	0.010	-34199.41	51.72	0.000	68422.81	68499.35
	0	2	0.091	0.010	-34225.26	0.00	0.000	68466.53	68517.55
Model for Silver	3	2	0.010	0.525	-3827.40	18.79	0.001	7694.81*	7822.89
	2	2	0.05	0.011	-3836.80	14.04	0.007	7705.60	7808.07
	1	2	0.010	0.113	-3843.82	93.16	0.000	7711.64	7788.49*
	0	2	0.203	0.010	-3890.40	0.00	0.000	7796.80	7848.04
Model for Platinum	3	2	0.231	0.512	-36214.16	16.44	0.002	72468.33*	72595.81
	2	2	0.035	0.43	-36222.38	14.26	0.006	72476.77	72578.75
	1	2	0.479	0.452	-36229.52	105.99	0.000	72483.03	72559.52*
	0	2	0.464	0.010	-36282.51	0.00	0.000	72581.03	72632.02
Model for Palladium	3	2	0.561	0.017	-39108.7	83.25	0.000	78257.36*	78384.69*
	2	2	0.010	0.010	-39150.3	53.90	0.000	78332.61	78434.48
	1	2	0.010	0.010	-39177.3	37.22	0.000	78378.52	78454.91

	k	r	d	b	Log-likelihood	LR	p value	AIC	BIC
	0	2	0.254	0.500	-39195.9	0.00	0.000	78407.73	78458.66
Model for Oil Brent	3	2	0.365	0.013	-14029.03	19.63	0.001	28098.05*	28225.49
	2	2	0.640	0.013	-14038.84	78.39	0.000	28109.68	28211.64*
	1	2	0.674	0.010	-14078.04	77.18	0.000	28180.07	28256.54
	0	2	0.350	0.010	-14116.62	0.00	0.000	28249.25	28300.23
Model for Oil WTI	3	2	0.379	0.012	-14127.01	15.85	0.003	28294.02*	28421.59
	2	2	0.633	0.010	-14134.94	92.81	0.000	28301.88	28403.93*
	1	2	0.673	0.010	-14181.34	88.15	0.000	28386.69	28463.23
	0	2	0.326	0.010	-14225.42	0.00	0.000	28466.83	28517.86

Джерело: розроблено автором на основі часових рядів цін на дорогоцінні метали та нафту та використання кодів Matlab.

Тестування моделей на значущість коефіцієнта вищого порядку лагу для
коінтеграційного рангу

	Rank	d	b	Log-likelihood	LR statistic	p value
Model for Gold	0	0.010	0.010	-34200.652	37.488	----
	1	0.052	0.010	-34181.257	-1.301	----
	2	0.458	0.395	-34181.908	----	----
Model for Platinum	0	0.010	0.010	-36251.035	57.301	----
	1	0.067	0.402	-36222.844	0.919	----
	2	0.035	0.430	-36222.385	----	----
Model for Palladium	0	0.010	0.010	-39177.688	54.761	----
	1	0.010	0.010	-39150.553	0.492	----
	2	0.010	0.010	-39150.307	----	----
Model for Oil Brent	0	0.010	0.010	-14088.548	99.412	----
	1	0.622	0.215	-14042.761	7.840	----
	2	0.640	0.013	-14038.842	----	----
Model for Oil WTI	0	0.010	0.010	-14187.915	105.953	----
	1	0.645	0.175	-14140.460	11.043	----
	2	0.633	0.010	-14134.938	----	----

Джерело: розроблено автором на основі часових рядів цін на дорогоцінні метали та нафту та використання кодів Matlab.

Дослідження моделі $FCVAR_{d=b,\mu}$

Аналіз $FCVAR_{d=b,\mu}$ моделі здійснюється в тому ж порядку, що і для попередньої моделі. Результати тестування моделі $FCVAR_{d=b,\mu}$ на значущість коефіцієнта вищого порядку лагу наведено у табл. 3.8.

Отримані дані в табл. 3.8 показують, що для моделі золота, платини, срібла, сортів нафти Brent та WTI значення $d > 0.01$, тому ці моделі є адекватними та їх лаговий рівень було понижено до $k = 2$ при проведенні Likelihood ratio test. Для моделі паладію $d = 0.01$, отже ця модель не є адекватною для нашого подальшого дослідження.

Результати тестування моделей на значущість коефіцієнта вищого порядку лагу для коінтеграційного рангу наведено у табл. 3.9 та свідчать, що в моделях для золота, платини, срібла, сортів нафти Brent та WTI відкидаємо $Rank = 0$ з значенням p-value 0.000 і приймаємо $Rank = 1$. Ці результати показують, що в цих системах є один коінтегрований вектор.

Отже, для подальшого аналізу середів використання моделі $FCVAR_{d=b,\mu}$ задовольняє умовам для п'яти об'єктів дослідження з шести.

Таблиця 3.8

Тестування моделей на значущість коефіцієнта вищого порядку лагу

	k	r	d	b	Log-likelihood	LR	p value	AIC	BIC
Model for Gold	3	2	0.574	0.574	-34167.16	26.38	0.000	68372.33*	68493.51
	2	2	0.055	0.055	-34180.36	38.10	0.000	68390.71	68486.38*
	1	2	0.010	0.010	-34199.41	52.74	0.000	68420.81	68490.97
	0	2	0.149	0.149	-34225.78	0.00	0.000	68465.55	68510.20
Model for Silver	3	2	0.276	0.276	-3832.18	9.26	0.055	7702.36*	7824.04
	2	2	0.034	0.034	-3836.81	14.16	0.007	7703.61	7799.68
	1	2	0.019	0.019	-3843.89	101.54	0.000	7709.77	7780.22*
	0	2	0.292	0.292	-3894.66	0.00	0.000	7803.32	7848.15
Model for Platinum	3	2	0.396	0.396	-36215.00	16.74	0.002	72468.00*	72589.11
	2	2	0.225	0.225	-36223.40	53.17	0.000	72476.74	72572.35*
	1	2	0.010	0.010	-36250.00	39.16	0.000	72521.90	72592.02
	0	2	0.235	0.235	-36269.50	0.00	0.000	72553.06	72597.68
Model for Palladium	3	2	0.010	0.010	-39136.50	27.60	0.000	78311.01*	78431.97
	2	2	0.010	0.010	-39150.30	53.90	0.000	78330.61	78426.11*
	1	2	0.010	0.010	-39177.30	55.86	0.000	78376.52	78446.55

	k	r	d	b	Log-likelihood	LR	p value	AIC	BIC
	0	2	0.184	0.184	-39205.20	0.00	0.000	78424.38	78468.94
Model for Oil Brent	3	2	0.186	0.186	-14029.42	48.58	0.000	28096.85*	28217.92*
	2	2	0.010	0.010	-14053.72	68.02	0.000	28137.43	28233.02
	1	2	0.010	0.010	-14087.73	14.53	0.006	28197.46	28267.55
	0	2	0.101	0.101	-14094.99	0.000	0.000	28203.98	28248.59
Model for Oil WTI	3	2	0.189	0.189	-14127.82	55.17	0.000	28293.63*	28414.83*
	2	2	0.010	0.010	-14155.40	63.14	0.000	28340.80	28436.48
	1	2	0.010	0.010	-14186.97	11.40	0.022	28395.94	28466.11
	0	2	0.106	0.106	-14192.67	0.000	0.000	28399.34	28443.99

Джерело: розроблено автором на основі часових рядів цін на дорогоцінні метали та нафту та використання кодів Matlab.

Тестування моделей на значущість коефіцієнта вищого порядку лагу для
коінтеграційного рангу

	Rank	d	b	Log-likelihood	LR statistic	p value
Model for Gold	0	0.010	0.010	-34200.651	40.592	0.000
	1	0.030	0.030	-34181.408	2.105	0.147
	2	0.055	0.055	-34180.356	----	----
Model for Silver	0	0.010	0.010	-3843.889	14.163	0.007
	1	0.010	0.010	-3837.119	0.625	0.429
	2	0.034	0.034	-3836.807	----	----
Model for Platinum	0	0.010	0.010	-36251.035	55.333	0.000
	1	0.236	0.236	-36223.933	1.129	0.288
	2	0.225	0.225	-36223.369	----	----
Model for Oil Brent	0	0.010	0.010	-14088.548	69.662	0.000
	1	0.010	0.010	-14053.748	0.063	0.802
	2	0.010	0.010	-14053.717	----	----
Model for Oil WTI	0	0.010	0.010	-14187.915	65.026	0.000
	1	0.458	0.458	-14150.023	-10.757	1.000
	2	0.010	0.010	-14155.402	----	----

Джерело: розроблено автором на основі часових рядів цін на дорогоцінні метали та нафту та використання кодів Matlab.

Оцінка параметрів FCVAR моделі. Після правильного вибору лагів і рангу систем проводиться оцінка та інтерпретація параметрів досліджуваних FCVAR моделей.

Модель 1 - full series. Нижче наведено результати оцінки для FCVAR моделі з параметром рівня μ і дробовими параметрами $d = b$. Багатовимірний Q-тест Портмантао позначено як $\%_s$, а максимальне значення правдоподібності позначено як $\log f$. Стандартна похибка знаходиться в дужках біля значення d , а значення p – *value* знаходиться в дужках біля значення $\%_s$.

Математичне представлення FCVAR моделі:

$$\Delta^{\hat{d}} \begin{bmatrix} CO_t \\ hlt_t \end{bmatrix} - \hat{\mu} = \hat{\alpha} \Delta^{\hat{d}} \hat{L}^{-1} \hat{\beta}' \left(\begin{bmatrix} CO_t \\ hlt_t \end{bmatrix} - \hat{\mu} \right) + \hat{\Gamma}_B \Delta^{\hat{d}} \hat{L}^{-1} \left(\begin{bmatrix} CO_t \\ hlt_t \end{bmatrix} - \hat{\mu} \right) + \hat{\Gamma}_C \Delta^{\hat{d}} \hat{L}_B \left(\begin{bmatrix} CO_t \\ hlt_t \end{bmatrix} - \hat{\mu} \right) + D_t$$

Модель 1 - full series.

GOLD

$$\hat{d} = 0.030(0.003) \quad \hat{\alpha} = \begin{bmatrix} 30.859 \\ 80.648 \end{bmatrix} \quad \hat{Q} = \begin{bmatrix} N.000 \\ -N.PQ0 \end{bmatrix} \quad \hat{\mu} = \begin{bmatrix} 0.031 \\ 18.128 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_B = \begin{bmatrix} -31.647 & 53.910 \\ -82.205 & 148.194 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_C = \begin{bmatrix} -50.002 & 68.425 \\ -52.424 & 173.609 \end{bmatrix}$$

$$\%_{\sigma_s} = 713.311(0.000) \quad \log f = -34181.408$$

SILVER

$$\hat{d} = 0.010(0.001) \quad \hat{\alpha} = \begin{bmatrix} -3966.043 \\ 1089.048 \end{bmatrix} \quad \hat{Q} = \begin{bmatrix} N.000 \\ 0.UU0 \end{bmatrix} \quad \hat{\mu} = \begin{bmatrix} -0.007 \\ 0.516 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_B = \begin{bmatrix} 3968.899 & 2173.356 \\ -1091.833 & -570.267 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_C = \begin{bmatrix} 4048.082 & 2403.312 \\ -714.510 & -845.100 \end{bmatrix}$$

$$\%_{\sigma_s} = 284.796(0.000) \quad \log f = -3837.119$$

PLATINUM

$$\hat{d} = 0.236(0.021) \quad \hat{\alpha} = \begin{bmatrix} -0.493 \\ 0.772 \end{bmatrix} \quad \hat{Q} = \begin{bmatrix} N.000 \\ -0.VVU \end{bmatrix} \quad \hat{\mu} = \begin{bmatrix} 1.147 \\ 28.526 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_B = \begin{bmatrix} -0.012 & -0.151 \\ -0.891 & -0.026 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_C = \begin{bmatrix} 0.112 & -0.206 \\ -0.801 & 1.887 \end{bmatrix}$$

$$\%_{\sigma_s} = 640.027(0.000) \quad \log f = -36223.933$$

OIL BRENT

$$\hat{d} = 0.010(0.000) \quad \hat{\alpha} = \begin{bmatrix} -2613.584 \\ 6535.569 \end{bmatrix} \quad \hat{Q} = \begin{bmatrix} N.000 \\ -0.WNX \end{bmatrix} \quad \hat{\mu} = \begin{bmatrix} 0.017 \\ 2.159 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_B = \begin{bmatrix} 2609.518 & -1600.566 \\ -6541.649 & 4018.795 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_C = \begin{bmatrix} 2862.427 & -1760.526 \\ -6668.358 & 4343.001 \end{bmatrix}$$

$$\%_{\sigma_s} = 1385.124(0.000) \quad \log f = -14053.748$$

OIL WTI

$$d = 0.458(0.013) \quad \alpha = \begin{bmatrix} -0.935 \\ -0.234 \end{bmatrix} \quad \hat{Q} = \begin{bmatrix} N.000 \\ 0.0PP \end{bmatrix} \quad \hat{\mu} = \begin{bmatrix} -0.056 \\ 2.367 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_B = \begin{bmatrix} -0.125 & 0.106 \\ 0.123 & -0.662 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_C = \begin{bmatrix} -0.077 & 0.136 \\ -0.074 & -0.879 \end{bmatrix}$$

$$\%s = 1310.262(0.000) \quad \log f = -14150.023$$

Згідно з отриманими результатами, у довгострокових моделях рівноваги існує негативний зв'язок між «*hl*» спредами та «*so*» спредами з нижченаведеними значеннями $\hat{\beta}$ в коінтеграційних рівняннях трьох об'єктів (золота, платини та нафти сорту Brent): -1.780 та -0.225 та -0.613 . Ці результати вказують на те, що великі «*hl*» спреди призводять до зниження «*so*» спредів. Тобто коли діапазон «*hl*» спредів збільшується, він забезпечує менші коливання у щоденних «*so*» спредах.

Проте існує позитивний зв'язок між «*hl*» спредами та «*so*» спредами з нижченаведеними значеннями $\hat{\beta}$ в коінтеграційних рівняннях двох об'єктів (срібла та нафти сорту WTI): 0.550 та 0.077 .

Результати тестування моделей для золота, платини та нафти сорту Brent не узгоджуються з теоретичними очікуваннями. Однак, зважаючи на те, що ціна закриття може бути нижче ціни відкриття в період кліку, тому спред можливий або негативний, або позитивний в залежності від розміщення ціни закриття порівнянно з ціною відкриття. Тож доцільним буде перекласифікувати дані: а саме відокремити негативні «*so*» спреди від позитивних «*so*» спредів і об'єднати кожний щоденний «*so*» спред з відповідним «*hl*» спредом.

Таким чином розглядаються нові дві моделі:

- Модель 2 - досліджуємо позитивний спред у цінах закриття/відкриття. Тут ціна закриття вище ціни відкриття, тобто маємо тенденцію до зростання цін на актив.
- Модель 3 - досліджуємо негативний спред у цінах закриття/відкриття. Тобто ціна закриття нижче ціни відкриття.

Математичне представлення FCVAR моделі:

$$\Delta^{\hat{d}} \begin{bmatrix} CO_t \\ hlt_t \end{bmatrix} - \hat{\mu} = \hat{\alpha} \Delta^{\hat{d}} \hat{L} \hat{\beta} \begin{bmatrix} CO_t \\ hlt_t \end{bmatrix} - \mu + \hat{\Gamma}_B \Delta^{\hat{d}} L \begin{bmatrix} CO_t \\ hlt_t \end{bmatrix} - \mu + \hat{\Gamma}_C \Delta^{\hat{d}} L \begin{bmatrix} CO_t \\ hlt_t \end{bmatrix} - \mu + D_t$$

Model 2: positive spreads

GOLD

$$\hat{d} = 0.132(0.019) \quad \hat{\alpha} = \begin{bmatrix} 5.289 \\ 0.650 \end{bmatrix} \quad \hat{Q} = \begin{bmatrix} N.000 \\ 0.NVU \end{bmatrix} \quad \hat{\mu} = \begin{bmatrix} -0.421 \\ 7.109 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_B = \begin{bmatrix} 4.614 & -0.681 \\ 7.317 & -0.828 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_C = \begin{bmatrix} -27.808 & -0.533 \\ -9.998 & -0.783 \end{bmatrix}$$

$$\%_{0s} = 161.275(0.000) \quad \log f = -9629.850$$

SILVER

$$\hat{d} = 0.754(0.008) \quad \hat{\alpha} = \begin{bmatrix} -0.008 \\ -0.028 \end{bmatrix} \quad \hat{Q} = \begin{bmatrix} N.000 \\ 0.YZP \end{bmatrix} \quad \hat{\mu} = \begin{bmatrix} 0.001 \\ 0.383 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_B = \begin{bmatrix} -0.213 & 0.003 \\ 0.903 & -0.768 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_C = \begin{bmatrix} 2.153 & 0.001 \\ 2.491 & -0.496 \end{bmatrix}$$

$$\%_{0s} = 960.454(0.000) \quad \log f = 8484.351$$

PLATINUM

$$\hat{d} = 0.398(0.020) \quad \hat{\alpha} = \begin{bmatrix} 0.020 \\ 1.415 \end{bmatrix} \quad \hat{Q} = \begin{bmatrix} N.000 \\ -0.PYW \end{bmatrix} \quad \hat{\mu} = \begin{bmatrix} -0.003 \\ 9.895 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_B = \begin{bmatrix} 3.310 & 0.016 \\ 8.050 & 0.050 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_C = \begin{bmatrix} -2.538 & 0.022 \\ -12.961 & 0.052 \end{bmatrix}$$

$$\%_{0s} = 304.795(0.000) \quad \log f = -10073.441$$

OIL BRENT

$$\hat{d} = 0.546(0.010) \quad \hat{\alpha} = \begin{bmatrix} 0.003 \\ 0.923 \end{bmatrix} \quad \hat{Q} = \begin{bmatrix} N.000 \\ -N.OYZ \end{bmatrix} \quad \hat{\mu} = \begin{bmatrix} 0.002 \\ 0.859 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_B = \begin{bmatrix} 4.073 & -0.001 \\ 3.475 & 0.009 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_C = \begin{bmatrix} -3.168 & 0.004 \\ -0.544 & -0.072 \end{bmatrix}$$

$$\%_{0s} = 223.689(0.000) \quad \log f = 2293.901$$

OIL WTI

$$\hat{d} = 0.010(0.000) \quad \hat{\alpha} = \begin{bmatrix} 14851.959 \\ 12155.919 \end{bmatrix} \quad \hat{Q} = \begin{bmatrix} N.000 \\ 0.OPW \end{bmatrix} \quad \hat{\mu} = \begin{bmatrix} -0.101 \\ 0.463 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_B = \begin{bmatrix} -14760.040 & -1128.628 \\ -12063.891 & -921.055 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_C = \begin{bmatrix} -17112.352 & -1170.523 \\ -14435.566 & -795.651 \end{bmatrix}$$

$$\%_{0s} = 83.550(0.001) \quad \log f = 69.372$$

Model 3 : negative spreads**GOLD**

$$\hat{d} = 0.671(0.028) \quad \hat{\alpha} = \begin{bmatrix} 0.006 \\ -1.101 \end{bmatrix} \quad \hat{Q} = \begin{bmatrix} \text{N.000} \\ \text{O.ZZP} \end{bmatrix} \quad \hat{\mu} = \begin{bmatrix} -122.844 \\ 131.547 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_B = \begin{bmatrix} 1.110 & -0.004 \\ -1.190 & 0.144 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_C = \begin{bmatrix} -0.150 & -0.009 \\ 2.626 & 0.150 \end{bmatrix}$$

$$\%_{\text{os}} = 320.150(0.000) \quad \log f = -8835.673$$

SILVER

$$\hat{d} = 0.619(0.028) \quad \hat{\alpha} = \begin{bmatrix} 0.006 \\ -0.909 \end{bmatrix} \quad \hat{Q} = \begin{bmatrix} \text{N.000} \\ \text{O.ZPN} \end{bmatrix} \quad \hat{\mu} = \begin{bmatrix} -7.223 \\ 7.634 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_B = \begin{bmatrix} 1.344 & -0.012 \\ -0.278 & -0.012 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_C = \begin{bmatrix} -0.393 & -0.004 \\ 0.020 & -0.126 \end{bmatrix}$$

$$\%_{\text{os}} = 88.094(0.000) \quad \log f = 3257.519$$

PLATINUM

$$\hat{d} = 0.427(0.011) \quad \hat{\alpha} = \begin{bmatrix} 0.007 \\ -0.799 \end{bmatrix} \quad \hat{Q} = \begin{bmatrix} \text{N.000} \\ \text{N.UNU} \end{bmatrix} \quad \hat{\mu} = \begin{bmatrix} -131.290 \\ 91.745 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_B = \begin{bmatrix} 2.060 & -0.003 \\ 6.875 & 0.275 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_C = \begin{bmatrix} -1.103 & -0.032 \\ -5.202 & 0.190 \end{bmatrix}$$

$$\%_{\text{os}} = 341.327(0.000) \quad \log f = -9261.021$$

OIL BRENT

$$\hat{d} = 0.685(0.034) \quad \hat{\alpha} = \begin{bmatrix} -0.001 \\ -1.074 \end{bmatrix} \quad \hat{Q} = \begin{bmatrix} \text{N.000} \\ \text{O.QZW} \end{bmatrix} \quad \hat{\mu} = \begin{bmatrix} -10.502 \\ 12.579 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_B = \begin{bmatrix} 0.823 & 0.003 \\ -0.452 & 0.036 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_C = \begin{bmatrix} 0.139 & -0.004 \\ -1.038 & 0.048 \end{bmatrix}$$

$$\%_{\text{os}} = 148.628(0.000) \quad \log f = 656.240$$

OIL WTI

$$\hat{d} = 1.810(0.034) \quad \hat{\alpha} = \begin{bmatrix} -0.003 \\ -1.062 \end{bmatrix} \quad \hat{Q} = \begin{bmatrix} \text{N.000} \\ \text{O.ZON} \end{bmatrix} \quad \hat{\mu} = \begin{bmatrix} -11.545 \\ 13.686 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_B = \begin{bmatrix} -0.333 & 0.001 \\ -0.351 & -0.009 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_C = \begin{bmatrix} -0.034 & 0.000 \\ 0.115 & -0.006 \end{bmatrix}$$

$$\%_{\text{os}} = 291.370(0.000) \quad \log f = 899.053$$

Дослідження показали, що в Моделі 2 будь-яке збільшення «*hl*» спредів призводить до збільшення «*so*» спредів у довгостроковій перспективі для золота, срібла та нафти сорту WTI, про це свідчать значення β в коінтеграційних рівняннях золота, срібла та нафти сорту WTI: 0.125, 0.497, 0.076. Проте для моделі платини та нафти сорту Brent будь-яке збільшення «*hl*» спредів призводить до зниження «*so*» спредів у довгостроковій перспективі, про це свідчать значення β в коінтеграційних рівняннях платини та нафти сорту Brent: -0.746 , -1.049 .

Результати Моделі 3 вказують: якщо ціна закриття менша, ніж ціна відкриття, тобто ціна активу має тенденцію до зниження, будь-яке збільшення «*hl*» спредів призводить до збільшення «*so*» спредів у довгостроковій перспективі для усіх об'єктів, про це свідчать значення β в коінтеграційних рівняннях золота, срібла, платини, нафти сорту Brent та WTI: 0.997, 0.971, 1.515, 0.896, 0.901.

Проаналізувавши усі чотири варіанти FCVAR моделі, було визначено, що для подальшого дослідження найкраще підходить FCVAR_{d=b,μ} (модель (2.11) з параметром рівня μ і дробовими параметрами $d = b$). Адже при використанні даної моделі 5 об'єктів з 6 узгоджують усім вимогам.

3.3. Прогнозування та симулювання спредів

Наступним етапом дослідження є прогнозування та симулювання «*hl*» спредів та «*so*» спредів для FCVAR_{d=b,μ} моделі на термін 365 днів для золота, срібла, платини, нафти сорту WTI та нафти сорту Brent.

Прогнозування «*hl*» спредів і «*so*» спредів для дорогоцінних металів та нафти проводилося використовуючи коди Матлаб. Будуються рекурсивні прогнози на крок вперед для «*hl*» спредів та «*so*» спредів на основі *full data*, які зображено на рис. 3.3 - рис. 3.4.

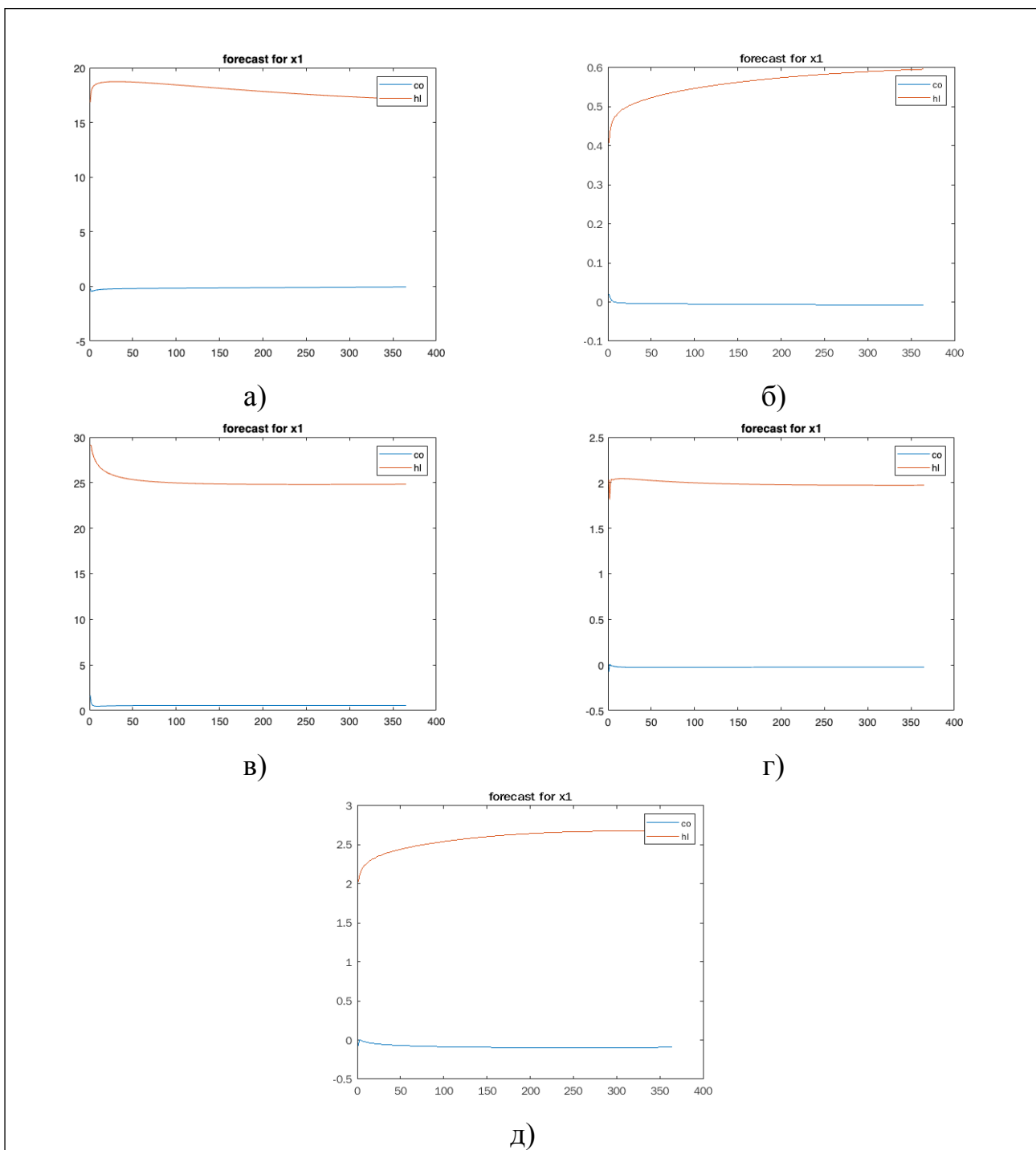


Рис. 3.3. Прогнозування «hl» середів та «co» середів на 365 днів для: а)золота, б)срібла, в) платини, г) нафти сорту WTI, д) нафти сорту Brent.

Джерело: розроблено автором.

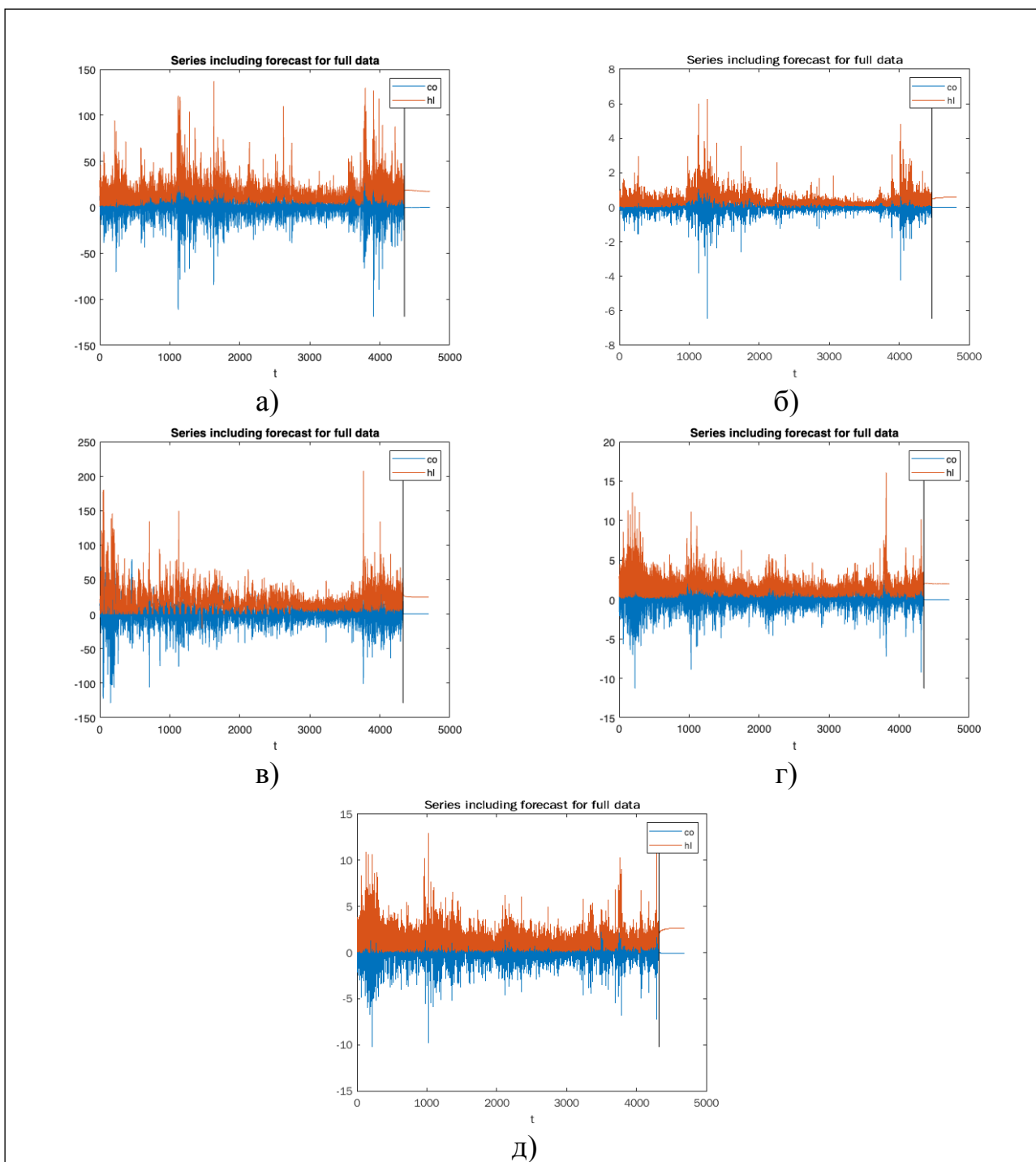


Рис. 3.4. Величини «hl» середів та «co» середів, включаючи зпрогнозовані на 365 днів для: а)золота, б)срібла, в) платини, г) нафти сорту WTI, д) нафти сорту Brent.

Джерело: розроблено автором.

Одержано такі результати прогнозування:

Для золота величина «*hl*» спредів з 11.01.2022 до 01.02.2022 плинно буде збільшуватись в цілому на 2 долари США, проте далі спостерігатимуться стабільні тенденції до спадання спреду до величини 17 доларів США. Величина «*so*» спредів буде знаходитися в межах 0, тобто ціна відкриття та ціна закриття будуть однаковими.

Для срібла величина «*hl*» спредів матиме тенденції до збільшення протягом всього прогнозованого періоду (11.01.2022 - 11.01.2023) з 0,4 доларів США до 0,6 долара США, що свідчить про очікуване невелике збільшення різниці між максимальною і мінімальною денною ціною продажу металу. Величина «*so*» спредів знаходитиметься в межах 0, тобто ціна відкриття та ціна закриття будуть однаковими.

Для платини величина «*hl*» спредів матиме тенденції до зменшення протягом всього прогнозованого періоду. З 11.01.2022 до 01.03.2022 відбуватиметься зниження величини спреда з 30 доларів США до 25 доларів США, що свідчить про зменшення різниці між максимальною і мінімальною денною ціною продажу металу. Проте починаючи з 02.03.2022 ситуація стабілізується і величина спреду буде сталою на рівні 25 доларів США протягом всього періоду. Величина «*so*» спредів буде знаходитися в межах 0, тобто ціна відкриття та ціна закриття будуть однаковими.

Для нафти сорту WTI величина «*hl*» спредів протягом всього прогнозованого періоду (11.01.2022 - 11.01.2023) коливається в межах 2 доларів США, що свідчить про стабільність продажів та величин цін. Величина «*so*» спредів буде знаходитися в межах 0, тобто ціна відкриття та ціна закриття будуть однаковими.

Для нафти сорту Brent величина «*hl*» спредів матиме тенденції до збільшення протягом всього прогнозованого періоду (11.01.2022 - 11.01.2023) з 2 доларів США до 2,7 доларів США, що свідчить про очікуване невелике збільшення різниці між максимальною і мінімальною денною ціною продажу

сорту нафти. Величина «*co*» спредів знаходитиметься в межах 0, тобто ціна відкриття та ціна закриття будуть однаковими.

Симулювання «*hl*» спредів і «*co*» спредів для дорогоцінних металів та нафти проводилося на підставі FCVAR моделі для *full data* на термін 365 днів. Модельовані дані генеруються за допомогою Матлаб функції «FCVARsim», розробленої Нільсеном та Попілем[59].

Для кожного виду дорогоцінного металу та сорту нафти було проведено по чотири варіанти симулювання, розраховано середнє значення цих величин та на підставі отриманих усереднених даних проведено узагальнене симулювання.

Результати чотирьох симулювань для кожного дорогоцінного металу та сорту нафти наведено у додатку А, рис. А.1 - рис. А.5. Результати узагальненого симулювання «*hl*» спредів та «*co*» спредів для кожного дорогоцінного металу та сорту нафти наведено на рис. 3.5.а)-д).

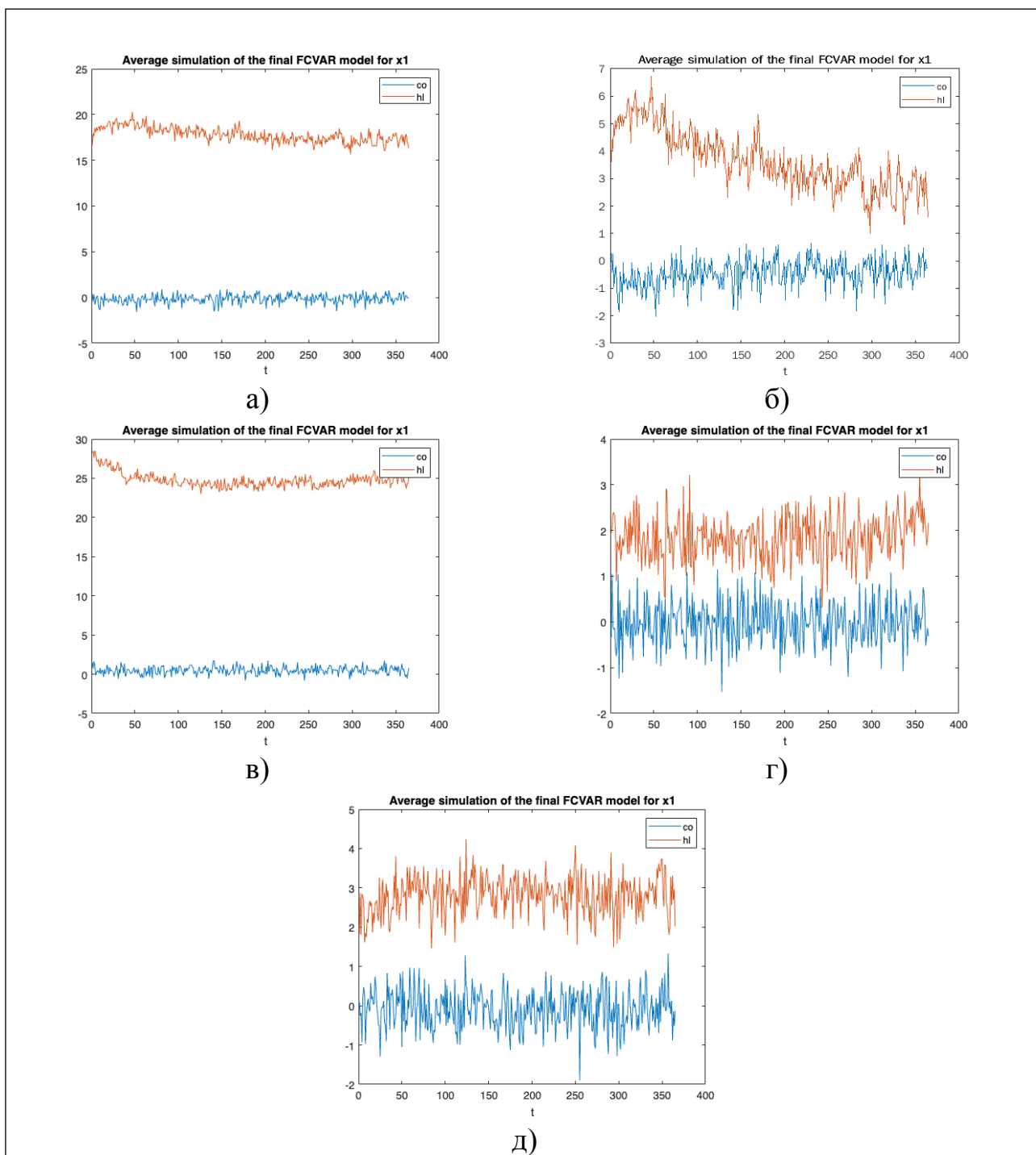


Рис. 3.5. Усереднене симулювання «hl» середів та «co» середів на 365 днів для:
 а) золота, б) срібла, в) платини, г) нафти сорту WTI, д) нафти сорту Brent.

Джерело: розроблено автором.

Одержано такі результати симулювання:

Для золота величина «*hl*» спредів протягом всього періоду (11.01.2022 - 11.01.2023) коливатиметься в межах 17-18 доларів США та матиме незначні тенденції до зниження. Величина «*so*» спредів знаходитиметься в межах від -1 до 1, що означатиме як про наявність негативних, так і позитивних спредів.

Для срібла величина «*hl*» спредів матиме значні коливання в межах від 1 до 7 доларів США з поступовим зменшенням протягом досліджуваного періоду (11.01.2022 - 11.01.2023). Величина «*so*» спредів буде знаходитися в межах від -2 до 1, що означатиме як про наявність негативних, так і позитивних спредів.

Для платини величина «*hl*» спредів матиме певні коливання з незначним поступовим зменшенням від 29 до 24 доларів США протягом досліджуваного періоду (11.01.2022 - 11.01.2023). Величина «*so*» спредів буде знаходитися в межах від -0.5 до 1, що означатиме як про наявність негативних, так і позитивних спредів.

Для нафти сорту WTI величина «*hl*» спредів матиме значні коливання. Протягом всього періоду (11.01.2022 - 11.01.2023) коливатиметься в межах від 0.5 до 3.5 доларів США. Величина «*so*» спредів знаходитиметься в межах від -1.5 до 1, що означатиме як про наявність негативних, так і позитивних спредів.

Для нафти сорту Brent величина «*hl*» спредів матиме значні коливання. Протягом всього періоду (11.01.2022 - 11.01.2023) коливатиметься в межах від 1.5 до 4.5 доларів США. Величина «*so*» спредів знаходитиметься в межах від -2 до 1.5, що означатиме як про наявність негативних, так і позитивних спредів.

Отже, провівши прогнозування та симулювання «*hl*» спредів та «*so*» спредів на рік вперед можна дійти до висновків, що величина зпрогнозованих «*so*» спредів для усіх досліджуваних об'єктів знаходитиметься в межах 0, тобто ціна відкриття та ціна закриття будуть однаковими. Результати симулювання «*so*» спредів для усіх дорогоцінних металів та сортів нафти свідчать про наявність як негативних, так і позитивних спредів.

Результати прогнозування «*hl*» спредів на рік вперед показали, що для золота, платини та нафти сорту WTI спостерігатимуться тенденції до незначного

зниження «hl» спредів, що свідчить про зменшення волатильності цін на дані досліджувані об'єкти. Проте для нафти сорту Brent та срібла спостерігатимуться тенденції до збільшення «hl» спредів, що свідчить про збільшення волатильності цін на дані об'єкти. Результати симулювання «hl» спредів на рік вперед показали трохи інші результати. А саме: для золота, платини, нафти сортів WTI та Brent спостерігатимуться незначні тенденції до зниження «hl» спредів, проте для срібла спостерігатимуться більш чіткі та значні тенденції до зниження «hl» спредів, в цілому це свідчить про зменшення волатильності цін на дані досліджувані об'єкти.

РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАНДЕМІЇ КОРОНАВІРУСУ НА БІРЖОВІ ТОРГИ ДОРОГОЦІННИМИ МЕТАЛАМИ ТА НАФТОЮ

У сьогоднішній значний вплив на світову економіку має пандемія коронавірусу. Основними наслідками розповсюдження цього вірусу є закриття заводів, фабрик, гальмування роботи мультикорпорацій та холдингів, призупинення нормального функціонування промислового сектору економіки. Відбулося зниження активності інвесторів, які схвильовані затяжною економічною рецесією на фоні швидкого наростання пандемії. Через ризики, пов'язані з поширенням коронавірусу, помітно впав індекс цін на дорогоцінні метали та сорти нафти на усіх товарних біржах світу. В цих умовах дослідження ситуації зі змінами цін на дорогоцінні метали та сорти нафти представляє певний інтерес.

4.1. Графічний аналіз та перевірка на фрактальність вхідних даних

База даних та графічний аналіз змін цін на дорогоцінні метали та нафту. Для якісного аналізу впливу пандемії COVID-19 на функціонування товарних бірж та рівень цін дорогоцінних металів та нафти було обрано щоденні дані на часовому проміжку з **10.11.2019 по 10.01.2022** з метою визначити загальну тенденцію зміни цін та виділити їх зріст або падіння протягом даного періоду. Вхідні дані, а саме: ціни відкриття на активи, ціни закриття на активи, мінімальні ціни на активи, максимальні ціни на активи було отримано з офіційного сайту інформаційно-аналітичного агентства FINAM, яке надає статистичні дані стосовно світових цін на активи на біржових торгах[12]. Першим кроком було проаналізовано динаміку цін відкриття(о) та закриття(с), максимальних(h) та мінімальних(l) щоденних цін та тенденції зміни «hl» спредів та «so» спредів для дорогоцінних металів та сортів нафти, які наведено у додатку Б, рис. Б.1 - рис.Б.6 та на рис. 4.1. Вісь ординат відображає величини вищезазначених показників, одиниці виміру - долар США; вісь абсцис показує щоденні відліки часових рядів.

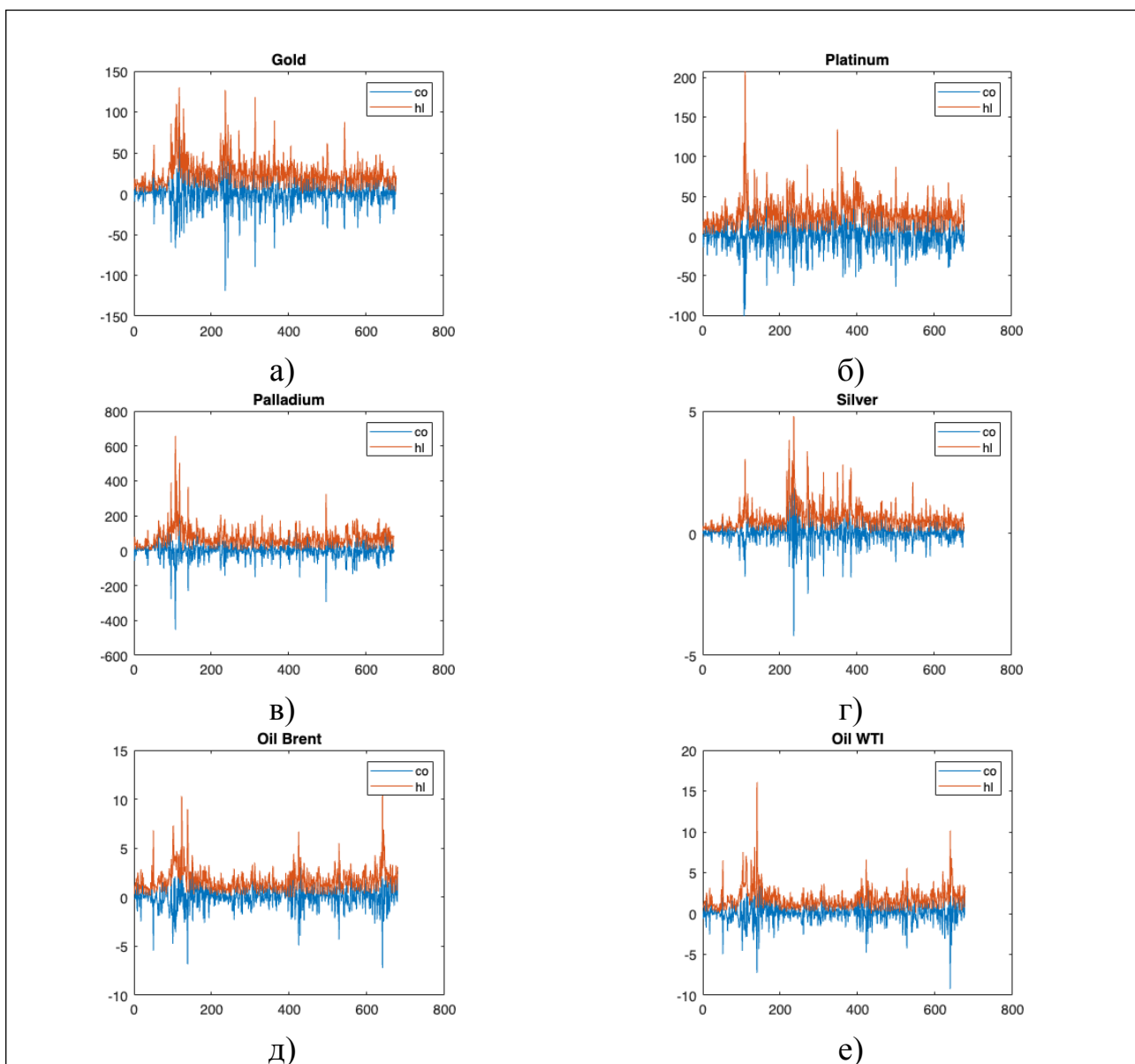


Рис. 4.1. Щоденні розкиди «*hl*» середів та «*co*» середів для: а)золота, б)платини, в)паладію г)срібла, д)нафти сорту Brent, е) нафти сорту WTI.

Джерело: розроблено автором.

Вже за результатами графічного аналізу вхідних даних можна дійти до висновків, що, починаючи з лютого 2020 року, відбувається падіння цін закриття/відкриття, максимальних/мінімальних цін для усіх видів дорогоцінних металів та сортів нафти. До того ж спостерігається помітне зниження величини «*so*» спредів нижче нуля для усіх досліджуваних об'єктів. Це означає, що ціни закриття значно менші, ніж ціни відкриття для цих металів та сортів нафти, що свідчить про суттєве подешевшення цих об'єктів протягом денних торгів.

Величини «*hl*» спредів починаючи з лютого 2020 року змінювалися таким чином: для усіх досліджуваних об'єктів характерне помітне збільшення величини «*hl*» спредів та значний стрибок до максимальних значень у середині березня 2020 року, що свідчить про суттєве коливання ціни на метали та сорти нафти протягом денних торгів.

Проте, вже починаючи з кінця березня 2020 року ситуація починає стабілізуватися, та ціни закриття/відкриття, максимальні/мінімальні ціни для усіх видів дорогоцінних металів та сортів нафти починають поступово збільшуватися намагаючись досягти до-COVID-19 значень.

Станом на початок січня 2022 року для усіх досліджуваних об'єктів «*so*» спреди мають позитивне значення, що означає, що вартість активів збільшується протягом денних торгів. Крім того, для усіх видів дорогоцінних металів та сортів нафти характерне помітне зменшення величини «*hl*» спредів, що свідчить про відсутність значних коливань цін на активи протягом денних торгів.

Перевірка часових рядів на фрактальність. Зважаючи на те, що основною метою дослідження кваліфікаційної роботи магістра є аналіз впливу «*hl*» спредів на «*so*» спредів для дорогоцінних металів та сортів нафти, використовуючи FCVAR модель, було здійснено аналіз вхідних даних на фрактальність, щоб дізнатися, чи є FCVAR відповідною моделлю для подальшої роботи. Алгоритм аналізу та перевірки вхідних даних є аналогічним з підрозділом 3.1.

Отримані результати Hurst, DFA та мультифрактального аналізу, які наведено у додатку В, табл. В.1., свідчать, що у всіх моделях «*so*» та «*hl*» спреди

мають довгу пам'ять. Крім того, «*hl*» спреди і «*co*» спреди є фрактально інтегрованими. У зв'язку з тим, що довга пам'ять і дробова інтеграція є закономірностями, що спостерігаються в досліджуваних змінних, як запропонував Масьел [52], традиційний коінтеграційний аналіз не був би задовільним для пояснення довготривалих відносин у аналізованій моделі.

Крім того, при проведенні мультифрактального аналізу було побудовано мультифрактальний спектр для визначення значення коефіцієнта Херста для «*hl*» спредів та «*co*» спредів для усіх досліджуваних об'єктів. Графічне зображення побудованого мультифрактального спектру наведено у додатку В, рис. В.1. а)-е). Так як побудований мультифрактальний спектр для усіх досліджуваних металів та сортів нафти має параболічний вигляд, це свідчить про те, що часові ряди є мультифрактальними. А отже, FCVAR модель є релевантною для обраних часових рядів.

Провівши тестування на дробову інтеграцію та визначивши, що модель FCVAR є допустимою для дослідження «*hl*» спредів та «*co*» спредів, переходимо до більш детального аналізу вищезазначених показників шляхом тестування та оцінки FCVAR моделі.

4.2. Тестування та оцінка FCVAR моделі

Було використано саме $FCVAR_{d=b,\mu}$ (модель (2.11) з параметром рівня μ і дробовими параметрами $d = b$), адже дана модель виявилася найкращою при проведенні дослідження на часовому проміжку 14 років. Процес тестування та оцінки FCVAR моделі є аналогічний підрозділу 3.2.

Тестування FCVAR моделі. Результати тестування моделі на значущість коефіцієнта вищого порядку лагу, які наведено у додатку В, табл. В.2, свідчать, що моделі для усіх досліджуваних об'єктів (золота, платини, паладію, срібла, нафти сортів Brent та WTI) є адекватними для подальшого дослідження.

Результати тестування моделі на значущість коефіцієнта вищого порядку лагу для коінтеграційного рангу наведено у додатку В, табл. В.3 та свідчать про

те, що в моделях для усіх досліджуваних металів та сортів нафти є один коінтегрований вектор, що вказує на адекватність обраної FCVAR моделі.

Оцінка параметрів FCVAR моделі. Математичне представлення FCVAR моделі:

$$\Delta^{\hat{d}} \begin{bmatrix} CO_t \\ hlt_t \end{bmatrix} - \hat{\mu} = \hat{\alpha} \Delta^{\hat{d}} \hat{L} \hat{\beta} \left(\begin{bmatrix} CO_t \\ hlt_t \end{bmatrix} - \hat{\mu} \right) + \hat{\Gamma}_B \Delta^{\hat{d}} \hat{L} \hat{\beta} \left(\begin{bmatrix} CO_t \\ hlt_t \end{bmatrix} - \hat{\mu} \right) + \hat{\Gamma}_C \Delta^{\hat{d}} \hat{L} \hat{\beta} \left(\begin{bmatrix} CO_t \\ hlt_t \end{bmatrix} - \hat{\mu} \right) + D_t$$

Модель 1 - full series.

GOLD

$$d = 0.010(0.001) \quad \alpha = \begin{bmatrix} -6500.419 \\ -5161.535 \end{bmatrix} \quad \hat{Q} = \begin{bmatrix} N.000 \\ 0.ZWU \end{bmatrix} \quad \hat{\mu} = \begin{bmatrix} 2.100 \\ 12.487 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_B = \begin{bmatrix} 6497.032 & 6268.599 \\ 5160.100 & 5001.191 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_C = \begin{bmatrix} 6306.444 & 6659.669 \\ 5378.267 & 5235.668 \end{bmatrix}$$

$$\%_{0s} = 223.367(0.000) \quad \log f = -5732.825$$

SILVER

$$d = 0.497(0.049) \quad \alpha = \begin{bmatrix} -1.263 \\ 0.946 \end{bmatrix} \quad \hat{Q} = \begin{bmatrix} N.000 \\ -0.ONQ \end{bmatrix} \quad \hat{\mu} = \begin{bmatrix} -0.008 \\ 0.404 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_B = \begin{bmatrix} 0.080 & -0.155 \\ -0.731 & -0.412 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_C = \begin{bmatrix} 0.291 & -0.057 \\ -0.985 & -0.591 \end{bmatrix}$$

$$\%_{0s} = 191.327(0.000) \quad \log f = -861.485$$

PLATINUM

$$\hat{d} = 0.010(0.002) \quad \hat{\alpha} = \begin{bmatrix} -3993.126 \\ 11342.175 \end{bmatrix} \quad \hat{Q} = \begin{bmatrix} N.000 \\ -0.ZNV \end{bmatrix} \quad \hat{\mu} = \begin{bmatrix} -0.086 \\ 28.516 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_B = \begin{bmatrix} 3992.793 & -3647.341 \\ -11338.651 & 10360.035 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_C = \begin{bmatrix} 3798.178 & -3596.588 \\ -11472.576 & 10684.424 \end{bmatrix}$$

$$\%_{0s} = 202.915(0.000) \quad \log f = -5834.817$$

PALLADIUM

$$d = 0.010(0.000) \quad \alpha = \begin{bmatrix} -998.273 \\ -817.191 \end{bmatrix} \quad \hat{Q} = \begin{bmatrix} N.000 \\ W.NQV \end{bmatrix} \quad \hat{\mu} = \begin{bmatrix} 15.433 \\ 21.614 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_B = \begin{bmatrix} 1008.066 & 6163.105 \\ 818.179 & 5071.969 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_C = \begin{bmatrix} 424.953 & 6487.298 \\ 524.341 & 5206.625 \end{bmatrix}$$

$$\%_{0s} = 156.286(0.000) \quad \log f = -7221.749$$

OIL BRENT

$$\hat{d} = 0.469(0.041) \quad \hat{a} = \begin{bmatrix} -0.810 \\ -0.602 \end{bmatrix} \quad \hat{Q} = \begin{bmatrix} N.000 \\ 0.0YV \end{bmatrix} \quad \hat{\mu} = \begin{bmatrix} 0.097 \\ 1.362 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_B = \begin{bmatrix} -0.038 & 0.107 \\ 0.386 & -0.440 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_C = \begin{bmatrix} -0.149 & -0.125 \\ 0.030 & -0.877 \end{bmatrix}$$

$$\%_{0s} = 110.314(0.000) \quad \log f = -2093.196$$

OIL WTI

$$\hat{d} = 0.424(0.035) \quad \hat{a} = \begin{bmatrix} -0.898 \\ -0.797 \end{bmatrix} \quad \hat{Q} = \begin{bmatrix} N.000 \\ -0.NVV \end{bmatrix} \quad \hat{\mu} = \begin{bmatrix} 0.064 \\ 1.438 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_B = \begin{bmatrix} -0.026 & -0.046 \\ 0.548 & -0.598 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_C = \begin{bmatrix} -0.312 & -0.157 \\ -0.320 & -1.102 \end{bmatrix}$$

$$\%_{0s} = 193.329(0.000) \quad \log f = -2166.66$$

Згідно з отриманими результатами, у довгострокових моделях рівноваги існує позитивний зв'язок між «*hl*» спредами та «*co*» спредами для трьох об'єктів – золота, паладію та нафти сорту Brent. Отримані результати узгоджуються з теоретичними очікуваннями.

Проте у довгострокових моделях рівноваги існує негативний зв'язок між «*hl*» спредами та «*co*» спредами у інших трьох об'єктів – платини, срібла та нафти сорту WTI. Цей результат вказує на те, що великі «*hl*» спреди призводять до зниження «*co*» спредів. Тобто коли діапазон «*hl*» спредів збільшується, він забезпечує менші коливання у щоденних «*co*» спредах. Дані результати тестування моделі для платини, срібла та нафти сорту WTI не узгоджуються з теоретичними очікуваннями. Однак, зважаючи на те, що ціна закриття може бути нижче ціни відкриття в період кліку, тому спред можливий або негативний, або позитивний в залежності від розміщення ціни закриття порівнянно з ціною відкриття. Тож доцільним буде перекласифікувати дані, а саме відокремити негативні «*co*» спреди від позитивних «*co*» спредів і об'єднати кожний щоденний «*co*» спред з відповідним «*hl*» спредом.

Таким чином розглядаються нові дві моделі:

- Модель 2 - досліджуємо позитивний спред у цінах закриття/відкриття. Тут ціна закриття вище ціни відкриття, тобто маємо тенденцію до зростання цін на актив.

- Модель 3 - досліджуємо негативний спред у цінах закриття/відкриття. Тобто ціна закриття нижче ціни відкриття.

Model 2: positive spreads

GOLD

$$d = 0.637(0.030) \quad \alpha = \begin{bmatrix} -0.150 \\ -0.190 \end{bmatrix} \quad \hat{Q} = \begin{bmatrix} \text{N.000} \\ -0.0\text{Z}\text{X} \end{bmatrix} \quad \hat{\mu} = \begin{bmatrix} 0.036 \\ 12.125 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_B = \begin{bmatrix} -0.074 & -0.014 \\ -0.430 & -0.748 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_C = \begin{bmatrix} 3.923 & 0.005 \\ 6.511 & -0.616 \end{bmatrix}$$

$$\%_{\sigma_s} = 86.891(0.001) \quad \log f = -1770.197$$

SILVER

$$\hat{d} = 0.112(0.026) \quad \hat{\alpha} = \begin{bmatrix} -0.026 \\ -1.345 \end{bmatrix} \quad \hat{Q} = \begin{bmatrix} \text{N.000} \\ \text{NN.NQZ} \end{bmatrix} \quad \hat{\mu} = \begin{bmatrix} -0.005 \\ 0.259 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_B = \begin{bmatrix} 7.684 & 0.363 \\ 5.844 & 13.379 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_C = \begin{bmatrix} -12.164 & -0.232 \\ 14.943 & 14.433 \end{bmatrix}$$

$$\%_{\sigma_s} = 57.829(0.157) \quad \log f = 742.898$$

PLATINUM

$$\hat{d} = 0.549(0.056) \quad \hat{\alpha} = \begin{bmatrix} -0.058 \\ -0.062 \end{bmatrix} \quad \hat{Q} = \begin{bmatrix} \text{N.000} \\ -0.\text{V}\text{W}\text{V} \end{bmatrix} \quad \hat{\mu} = \begin{bmatrix} -0.012 \\ 20.917 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_B = \begin{bmatrix} 0.831 & -0.015 \\ 1.378 & -1.103 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_C = \begin{bmatrix} 1.067 & -0.015 \\ 2.141 & -0.885 \end{bmatrix}$$

$$\%_{\sigma_s} = 66.708(0.038) \quad \log f = -1547.582$$

PALLADIUM

$$\hat{d} = 0.580(0.020) \quad \hat{\alpha} = \begin{bmatrix} -0.585 \\ -0.893 \end{bmatrix} \quad \hat{Q} = \begin{bmatrix} \text{N.000} \\ -0.00\text{N} \end{bmatrix} \quad \hat{\mu} = \begin{bmatrix} 1.511 \\ 28.301 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_B = \begin{bmatrix} -2.821 & 0.007 \\ -5.743 & -0.884 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_C = \begin{bmatrix} 12.720 & 0.011 \\ 22.184 & -0.885 \end{bmatrix}$$

$$\%_{\sigma_s} = 153.149(0.000) \quad \log f = -3007.399$$

OIL BRENT

$$\hat{d} = 0.086(0.022) \quad \hat{\alpha} = \begin{bmatrix} 8.975 \\ 43.445 \end{bmatrix} \quad \hat{Q} = \begin{bmatrix} \text{N.000} \\ \text{O.XVX} \end{bmatrix} \quad \hat{\mu} = \begin{bmatrix} 0.003 \\ 0.833 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_B = \begin{bmatrix} 1.436 & -2.725 \\ -20.231 & -15.075 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_C = \begin{bmatrix} -36.890 & -3.550 \\ -120.370 & -23.704 \end{bmatrix}$$

$$\%_{\theta_s} = 124.184(0.000) \quad \log f = 387.960$$

OIL WTI

$$\hat{d} = 0.643(0.031) \quad \hat{\alpha} = \begin{bmatrix} -0.041 \\ -0.193 \end{bmatrix} \quad \hat{Q} = \begin{bmatrix} \text{N.000} \\ \text{O.XUY} \end{bmatrix} \quad \hat{\mu} = \begin{bmatrix} -0.001 \\ 0.600 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_B = \begin{bmatrix} 0.264 & 0.009 \\ -1.062 & -0.775 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_C = \begin{bmatrix} 2.124 & 0.008 \\ 9.439 & -0.688 \end{bmatrix}$$

$$\%_{\theta_s} = 82.977(0.001) \quad \log f = 295.380$$

Model 3 : negative spreads**GOLD**

$$\hat{d} = 0.603(0.044) \quad \hat{\alpha} = \begin{bmatrix} 0.020 \\ -0.833 \end{bmatrix} \quad \hat{Q} = \begin{bmatrix} \text{N.000} \\ \text{N.VPN} \end{bmatrix} \quad \hat{\mu} = \begin{bmatrix} -131.334 \\ 111.509 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_B = \begin{bmatrix} 1.593 & -0.007 \\ -0.417 & 0.021 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_C = \begin{bmatrix} -0.676 & -0.014 \\ 1.628 & -0.046 \end{bmatrix}$$

$$\%_{\theta_s} = 62.095(0.083) \quad \log f = -1774.685$$

SILVER

$$\hat{d} = 1.429(0.069) \quad \hat{\alpha} = \begin{bmatrix} 0.002 \\ -1.314 \end{bmatrix} \quad \hat{Q} = \begin{bmatrix} \text{N.000} \\ \text{O.PUN} \end{bmatrix} \quad \hat{\mu} = \begin{bmatrix} -5.257 \\ 7.258 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_B = \begin{bmatrix} 0.457 & -0.005 \\ -0.585 & 0.073 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_C = \begin{bmatrix} -0.196 & 0.000 \\ 0.136 & 0.020 \end{bmatrix}$$

$$\%_{\theta_s} = 104.067(0.000) \quad \log f = 354.352$$

PLATINUM

$$\hat{d} = 0.391(0.042) \quad \hat{\alpha} = \begin{bmatrix} 0.102 \\ -1.526 \end{bmatrix} \quad \hat{Q} = \begin{bmatrix} \text{N.000} \\ \text{N.0QQ} \end{bmatrix} \quad \hat{\mu} = \begin{bmatrix} -103.943 \\ 104.943 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_B = \begin{bmatrix} 2.091 & 0.036 \\ -0.141 & 0.729 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_C = \begin{bmatrix} -1.288 & -0.156 \\ 1.673 & 0.652 \end{bmatrix}$$

$$\%_{\theta_s} = 52.407(0.307) \quad \log f = -1868.815$$

PALLADIUM

$$\hat{d} = 0.762(0.073) \quad \hat{\alpha} = \begin{bmatrix} 0.016 \\ -1.595 \end{bmatrix} \quad \hat{Q} = \begin{bmatrix} \text{N.000} \\ 0. \text{PWW} \end{bmatrix} \quad \hat{\mu} = \begin{bmatrix} -489.605 \\ 672.377 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_B = \begin{bmatrix} 0.723 & 0.025 \\ -0.984 & 0.178 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_C = \begin{bmatrix} 0.207 & 0.003 \\ 0.023 & 0.090 \end{bmatrix}$$

$$\%_{0s} = 107.431(0.000) \quad \log f = -2712.556$$

OIL BRENT

$$\hat{d} = 0.782(0.175) \quad \hat{\alpha} = \begin{bmatrix} -0.005 \\ -1.241 \end{bmatrix} \quad \hat{Q} = \begin{bmatrix} \text{N.000} \\ 0. \text{PZY} \end{bmatrix} \quad \hat{\mu} = \begin{bmatrix} -7.439 \\ 10.183 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_B = \begin{bmatrix} 1.011 & 0.000 \\ -2.090 & 0.077 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_C = \begin{bmatrix} -0.073 & 0.009 \\ 0.048 & -0.010 \end{bmatrix}$$

$$\%_{0s} = 114.160(0.000) \quad \log f = 36.812$$

OIL WTI

$$\hat{d} = 1.198(0.080) \quad \hat{\alpha} = \begin{bmatrix} 0.005 \\ -1.119 \end{bmatrix} \quad \hat{Q} = \begin{bmatrix} \text{N.000} \\ 0. \text{ZXX} \end{bmatrix} \quad \hat{\mu} = \begin{bmatrix} -10.024 \\ 11.676 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_B = \begin{bmatrix} 0.606 & 0.012 \\ 0.555 & 0.026 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_C = \begin{bmatrix} -0.194 & -0.011 \\ -0.095 & -0.005 \end{bmatrix}$$

$$\%_{0s} = 55.557(0.211) \quad \log f = -183.756$$

Дослідження показали, що в Моделі 2 будь-яке збільшення «*hl*» спредів призводить до збільшення «*so*» спредів у довгостроковій перспективі для срібла, нафти сортів Brent та WTI, про це свідчать значення $\hat{\beta}$ в коінтеграційних рівняннях даних об'єктів: 11.189, 0.323, 0.354. Проте для моделі золота, платини та паладію будь-яке збільшення «*hl*» спредів призводить до зниження «*so*» спредів у довгостроковій перспективі, про це свідчать значення $\hat{\beta}$ в коінтеграційних рівняннях даних об'єктів: -0.093 , -0.262 , -0.001 .

Результати Моделі 3 вказують: якщо ціна закриття менша, ніж ціна відкриття, тобто ціна активу має тенденцію до зниження, будь-яке збільшення «*hl*» спредів призводить до збільшення «*so*» спредів у довгостроковій перспективі для усіх об'єктів, про це свідчать значення $\hat{\beta}$ в коінтеграційних рівняннях золота, срібла, платини, паладію, нафти сорту Brent та WTI: 1.271, 0.751, 1.088, 0.766, 0.794, 0.933. Це узгоджується з теоретичними очікуваннями.

Таким чином, усі побудовані FCVAR моделі на основі вхідних даних *negative spreads* узгоджуються з теоретичними очікуваннями та свідчать, що будь-яке збільшення «*hl*» спредів призводить до збільшення «*co*» спредів у довгостроковій перспективі для усіх досліджуваних металів та сортів нафти.

В цілому, можна дійти до висновків, що вплив коронавірусу на біржові торги є досить значним. Починаючи з лютого 2020 року, коли пандемія COVID-19 поширилася на більшість країн світу, відбулося тотальне падіння цін на усі досліджувані метали та сорти нафти. Впродовж наступних двох років ситуація на ринку поступово почала стабілізуватися, проте все одно присутні тимчасові значні стрибки в цінах на метали та сорти нафти. Крім того, побудована FCVAR модель на основі сучасних кризових даних показала якісні результати, які узгоджуються з теоретичними очікуваннями.

ВИСНОВКИ

Біржі є важливим сектором оптової торгівлі економіки, який забезпечує об'єктивне формування цін та регулювання товарообігу за ринковими законами. Основним показником біржових торгів є волатильність ринку, який характеризує мінливість ціни за певний проміжок часу; це - середній діапазон, в якому може коливатися ціна. Чим більше волатильність, тим більше потенційний прибуток трейдера, але і вище ризик зазнати втрат в разі помилкового прогнозу. Обираючи стратегію дій під час торгів необхідно ретельно підбирати спосіб проведення аналізу відповідно до мінливості цін.

Прикладом сучасного математичного інструменту дослідження мінливості цін на біржових торгах є економіко-математична модель FCVAR. Вона дозволяє оцінити довготривалі співвідношення рівноваги між дробовими часовими рядами; враховує параметри b - ступінь дробової коінтеграції та d - дробовий параметр інтегрування. FCVAR модель є повноцінною для якісного емпіричного застосування завдяки розробці комп'ютерних програм у середовищі Matlab.

В даній роботі було проведено дослідження наявних чотирьох типів FCVAR моделі для виявлення найкращого результату. Проведений аналіз засвідчив, що при дослідженні впливу щоденних високих/низьких спредів на спреди закриття/відкриття для різних видів дорогоцінних металів та сортів нафти доцільно використовувати саме $FCVAR_{d=b,\mu}$ - модель (2.11) з параметром рівня μ і дробовими параметрами $d = b$. Дана модель показала, що якщо ціна закриття менша, ніж ціна відкриття, тобто ціна активу має тенденцію до зниження, будь-яке збільшення «hl» спредів призводить до збільшення «so» спредів у довгостроковій перспективі для досліджуваних металів та сортів нафти, що узгоджується з теоретичними очікуваннями.

Було визначено, що $FCVAR_{d=b,\mu}$ модель можна застосовувати для прогнозування та симулювання процесів на товарних біржах. Результати прогнозування «hl» спредів на рік вперед показали, що для золота, платини та нафти сорту WTI спостерігатимуться тенденції до незначного зниження «hl»

спредів, що свідчить про зменшення волатильності цін на дані досліджувані об'єкти. Проте для нафти сорту Brent та срібла спостерігатимуться тенденції до збільшення «hl» спредів, що свідчить про збільшення волатильності цін на дані об'єкти. Результати симулювання на рік вперед показали, що для золота, платини, нафти сортів WTI та Brent спостерігатимуться незначні тенденції до зниження «hl» спредів, проте для срібла спостерігатимуться більш чіткі та значні тенденції до зниження «hl» спредів, в цілому це свідчить про зменшення волатильності цін на дані досліджувані об'єкти.

Крім того, було *проаналізовано вплив пандемії коронавірусу на біржові торги* та визначено, що починаючи з лютого 2020 року, коли пандемія COVID-19 поширилася на більшість країн світу, відбулося тотальне падіння цін на усі види металів та сорти нафти. Побудована FCVAR модель на основі кризових даних показала якісні результати, які узгоджуються з теоретичними очікуваннями: якщо ціна закриття менша, ніж ціна відкриття, тобто ціна активу має тенденцію до зниження, то будь-яке збільшення «hl» спредів призводить до збільшення «so» спредів у довгостроковій перспективі для усіх досліджуваних металів та сортів нафти.

Отже, використання FCVAR моделі є доцільним для дослідження впливу «hl» спредів на «so» спреди для дорогоцінних металів та сортів нафти на біржових торгах як в умовах стабільної економіки, так і в період кризових явищ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дегтяренко И.В., Гарматенко А.М. Алгоритм поиска интервалов монофрактальности в неоднородных фрактальных процессах / Дегтяренко И.В., Гарматенко А.М.// Збірник наукових праць ДонІЗТ. – 2014 – №37. – С.59-67.
2. Дудяк Р.П., Бугеля С.Я. Організація біржової діяльності: Основи теорії і практикум. Навч. посібник 2-ге видання доповнене. – Львів: Новий Світ. – 2000: Магнолія плюс. – 2003. – 360 с.
3. Економетрія: навчальний посібник (гриф МОН України) / А.О. Азарова, Н.В. Сачанюк-Кавецька, О.М. Роїк, Ю.В. Міронова. - Вінниця: ВНТУ, 2014. — 304 с.
4. Економетрика: підручник / І. І. Єлісеєва, С. В. Куришева, Н. М. Гордеєнко [и др.]; під ред. І. І. Єлісеєвої. 2-е изд., Перераб. і доп. М.: Фінанси і статистика, 2007. — 344 с.
5. Економічна енциклопедія: У трьох томах. Т. 1. / Редкол.: ...С. В. Мочерний (відп. ред.) та ін. – К.: Видавничий центр “Академія”, 2000. – 864 с.
6. Закон України “Про товарну біржу” від 10.12.1991 р. № 1956- XII (зі змінами і доповненнями).
7. Кузнецова, Г. В. Международная торговля товарами и услугами : учебник для бакалавриата и магистратуры / Г. В. Кузнецова, Г. В. Подбираліна. — М. : Издательство Юрайт, 2015. — 571 с. — (Бакалавр и магистр. Академический курс). — ISBN 978-5-9916-3998-9.
8. Моделі і методи соціально-економічного прогнозування, 2-ге вид., виправ. / В.М.Геєць, Т.С.Клебанова, О.І.Черняк та ін. – Х.: ВД „ІНЖЕК”, 2008. – 396 с.
9. Моделі і методи соціально-економічного прогнозування. / В.М.Геєць, Т.С.Клебанова, О.І.Черняк та ін. – Х.: ВД „ІНЖЕК”, 2005. – 396 с.
10. Мороз Л. Товарна біржа як суб'єкт господарювання/ Л. Мороз //Право України. - 2007. - № 8. - С. 47 – 51.
11. Николаева Е.В. Города как фрактальные перекрестки мира / Николаева Е.В.// Лабиринт. Журнал социально-гуманитарных

исследований: Лабиринт. Журнал социально-гуманитарных исследований. – 2012. – №3. – С.92-106.

12. Офіційний сайт інформаційно-аналітичного агентства FINAM [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.finam.ru>

13. Солодкий М.О Біржовий ринок – К.: Джерела М, 2002.-336 с.

14. Феняк Л.А. Особливості функціонування товарних бірж в Україні / Л.А.Феняк, Л.А. Фалатюк [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.rusnauka.com/10_DN_2013/Economics/3_133361.doc.htm

15. Сохацька О.М. Біржова справа: Підручник –К.:Кондор, 2008. – 636 с.

16. Черваньов Д.М. Комашко О.В. Економетрика: . – К.: РВВ КІЕМБСС., 1998.

17. Черняк А.И. Характеристика FOREX как объекта прогнозного моделирования динамики рыночных трендов / А.И.Черняк // Культура народов Причерноморья. – 2007. – № 122. – С. 111-113.

18. Черняк О.І. Застосування коінтеграції та векторної моделі корекції похибки до аналізу, моделювання та прогнозування соціальної безпеки України / О.І.Черняк, О.В. Баженова // Економічна кібернетика. – 2004.- N 1-2.- С.21-26.

19. Черняк О.І. Прогнозування зовнішньо-торгівельних сальдо України: комбінований підхід із застосуванням VAR-моделей / О.І.Черняк, Є.С.Корнієнко // Вісник Національного банку України. – 2001. – N 11. – С. 17 – 20.

20. Черняк О.І. Українська школа економічного прогнозування: стан та перспективи розвитку / О.І.Черняк, Г.О.Чорноус // Вісник Львівської державної фінансової академії. – 2006. – №11.- С.385-390.

21. Черняк О.І., Ставицький А.В. Динамічна економетрика / О.І. Черняк, А.В. Ставицький. – К.: КВІЦ, 2000, 120 с.

22. Akhtaruzzaman M, Boubaker S, Sensoy A (2021) “Financial contagion during COVID–19 crisis.” Finance Res Lett 38:101604

23. Akhtaruzzaman M, Boubaker S, Chiah M, Zhong A (2020) COVID– 19 and oil price risk exposure. Finance research letters, 101882

24. Al-Awadhi AM, Alsaifi K, Al-Awadhi A, Alhammadi S (2020) Death and contagious infectious diseases: Impact of the COVID-19 virus on stock market returns. *Journal of behavioral and experimental finance*, 27:100326
25. Ashraf BN (2020) Economic impact of government interventions during the COVID-19 pandemic: international evidence from financial markets. *J Behav Exp Financ* 27:100371
26. Baillie R. T. Long memory processes and fractional integration in econometrics. / R. T. Baillie // *Journal of Econometrics*. – 1996. – №73. – P. 5– 59.
27. Balcilar M, Usman O (2021) Exchange rate and oil price pass-through in the BRICS countries: evidence from the spillover index and rolling-sample analysis. *Energy* 229:120666
28. Balcilar, Mehmet & Roubaud, David & Usman, Ojonugwa & Wohar, Mark E., 2021. "Moving out of the linear rut: A period-specific and regime-dependent exchange rate and oil price pass-through in the BRICS countries," *Energy Economics*, Elsevier, vol. 98(C).
29. Baruník J., Dvořáková S. An empirical model of fractionally cointegrated daily high and low stock market prices. / J.Baruník, S.Dvořáková // *Economic Modelling*. – 2015. – №45. – P. 193– 206.
30. Bildirici ME, Turkmen C (2015) Nonlinear causality between oil and precious metals. *Res Policy* 46:202–211
31. Caginalp G., Balevonich D. A theoretical foundation for technical analysis./ G. Caginalp, D. Balevonich // *Journal of Technical Analysis*. – 2003. – №59. – P. 5– 21.
32. Carlini F., Santucci de Magistris P. On the identification of fractionally cointegrated VAR models with the F (d) condition. / F. Carlini, P. Santucci de Magistris // *Journal of Business & Economic Statistics*. – 2017.
33. Chen W. W., Hurvich C. M. Estimating fractional cointegration in the presence of polynomial trends. / W. W. Chen, C. M. Hurvich// *Journal of Econometrics*. – 2003. – №117. – P. 95– 121.

34. Corbet S, Larkin C, Lucey B (2020) The contagion effects of the COVID-19 pandemic: Evidence from gold and cryptocurrencies. *Finance Research Letters*, 35:101554
35. Dolatabadi S., Nielsen M. Ø., Xu K. A fractionally cointegrated VAR model with deterministic trends and application to commodity futures markets. / S. Dolatabadi, M. Ø. Nielsen, K. Xu // *Journal of Empirical Finance* . – 2016. – №38. – P. 623– 639.
36. Fama E. Efficient capital markets: A review of theory and empirical work./ E. Fama // *Journal of Finance*. – 1970. – №25. – P. 383– 417.
37. Fama E. Random walks in stock market prices./ E. Fama // *Financial Analysts Journal*. – 1965. – №21(5). – P. 55– 59.
38. Gil-Alana L. A., Mudida R., Carcel H. Shocks affecting electricity prices in Kenya, a fractional integration study./ L. A. Gil-Alana, R. Mudida, H. Carcel // *Energy*. – 2017. – №124. – P. 521– 530.
39. Gil-Alana LA, Monge M (2020) Crude oil prices and COVID-19: persistence of the shock. *Energy Research Letters* 1(1):13200
40. Hurst H. E. Long-term storage of reservoirs: An experimental study./ H. E. Hurst // *Transactions of the American Society of Civil Engineers*. – 1951. – №116. – P. 770–799.
41. Ji Q, Zhang D, Zhao Y (2020) Searching for safe-haven assets during the COVID-19 pandemic. *Int Rev Financ Anal* 101526
42. Johansen S. A representation theory for a class of vector autoregressive models for fractional processes./ S. Johansen // *Econometric Theory*. – 2008. – №24. – P. 651– 676.
43. Johansen S. Likelihood-based inference in cointegrated vector autoregressive models/ S. Johansen. – New York, NY: Oxford University Press, 1995.
44. Johansen S., Nielsen M. Ø. Likelihood inference for a fractionally cointegrated vector autoregressive model./ S. Johansen, M. Ø. Nielsen // *Econometrica*. – 2012. – №80. – P. 2667– 2732.

45. Johansen S., Nielsen M. Ø. Likelihood inference for a nonstationary fractional autoregressive model./ S. Johansen, M. Ø. Nielsen // Journal of Econometrics. – 2010. – №158. – P. 51– 66.
46. Johansen S., Nielsen M. Ø. The role of initial values in nonstationary fractional time series models (QED Working Paper No. 1300) / S. Johansen, M. Ø. Nielsen. – Kingston, Ontario, Canada: Queen’s University, 2014.
47. Jones M. E., Nielsen M. Ø., Popiel M. K. A fractionally cointegrated VAR analysis of economic voting and political support./ M. E. Jones, M. Ø. Nielsen, M. K. Popiel // Canadian Journal of Economics/Revue canadienne d’économique. – 2014. – №47. – P. 1078– 1130.
48. Joseph G., Romeo A., Elizabeth D. T. A study on the formation of candlestick patterns with reference to Nifty index for the past five years. / Joseph G., Romeo A., Elizabeth D. T. // International Journal of Management Research and Reviews. – 2015. – №5(2). – P. 67– 90.
49. Lan Q., Zhang D., Xiong L. Reversal pattern discovery in financial time series based on fuzzy candlestick lines. / Q. Lan, D. Zhang , L. Xiong // Systems Engineering Procedia. – 2011. – №2. – P. 182– 190.
50. Li Y., Feng Z., Feng L. Using candlestick charts to predict adolescent stress trend on micro-blog. / Y. Li, Z. Feng, L. Feng // Procedia Computer Science. – 2015. – №63. – P. 221– 228.
51. Lo A. W., Mamaysky H., Wang J. Foundations of technical analysis: Computational algorithms, statistical inference, and empirical implementation. / A. W. Lo, H. Mamaysky, J. Wang//The Journal of Finance. – 2000. – №55. – P. 1705– 1765.
52. Maciel L. S. Technical analysis based on high and low stock prices forecasts: Evidence for Brazil using a fractionally cointegrated VAR model./ L. S. Maciel// CFA Society Brazil. – 2017.
53. MacKinnon J. G., Nielsen M. Ø. Numerical distribution functions of fractional unit root and cointegration tests./ J.G. MacKinnon,M. Ø. Nielsen// Journal of Applied Econometrics. – 2014. – №29. – P. 161– 171.

54. Mandelbrot B. B., Van Ness J. W. Fractional Brownian motions, fractional noises and applications./ B. B. Mandelbrot, J. W. Van Ness // SIAM Review. – 1968. – №10. – P. 422– 437.

55. Marshall B. R. Candlestick technical trading strategies: Can they create value for investors? (Doctoral thesis). / B. R. Marshall. – New Zealand: Massey University, 2005.

56. Mensi W et al (2020) Impact of COVID-19 outbreak on asymmetric multifractality of gold and oil prices. Res Policy 69:101829

57. Mishra AK, Rath BN, Dash AK (2020) Does the Indian financial market nosedive because of the COVID-19 outbreak, in comparison to after demonetisation and the GST? Emerg Mark Financ Trade 56(10):2162–2180

58. Morris G. L. Candlestick charting explained: Timeless techniques for trading stocks and futures (3rd ed.). / G. L. Morris. – New York, NY: McGraw-Hill, 2006.

59. Nielsen M. Ø., Popiel M. K. A Matlab program and user's guide for the fractionally cointegrated VAR model (Queen's Economics Department Working Paper No 1330). / M. Ø. Nielsen, M. K. Popiel. – Ontario, Canada: K7L 3N6, 2014.

60. O. Liashenko, T. Kravets and O. Bobro, "Fractionally Cointegrated Vector Autoregression Model of Spread Estimation for Metals," 2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Deggendorf, Germany, 2020, pp. 643-646, doi: 10.1109/ACIT49673.2020.9208895.

61. Peng C. K., Buldyrev S. V., Havlin S., Simons M., Stanley H. E., Goldberger A. L. Mosaic organization of DNA nucleotides. / C. K. Peng, S. V. Buldyrev, S. Havlin, M. Simons, H. E. Stanley, A. L. Goldberger // Physical Review E. – 1994. – №49. – P. 1685– 1689.

62. Phan DHB, Narayan PK (2020) Country responses and the reaction of the stock market to COVID-19—a preliminary exposition. Emerg Mark Financ Trade 56(10):2138–2150

63. Prado H. A., Ferneda E., Morais L. C., Luiz A. J., Matsura E. On the effectiveness of candlestick chart analysis for the Brazilian stock market./ H. A. Prado,

- E. Ferneda, L. C. Morais, A. J. Luiz, E. Matura // *Procedia Computer Science*. – 2013. – №22. – P. 1136– 1145.
64. Rhineland J. 2015 fracdist-1.0.4-windows.exe. [Электронный ресурс] – 2015. – Режим доступа до ресурсу: <https://github.com/jagerman/fracdist/releases>
65. Roy P., Sharma S., Kowar M. K. Fuzzy candlestick approach to trade S&P CNX Nifty 50 index using engulfing patterns./ P.Roy, S.Sharma, M. K. Kowar // *International Journal of Hybrid Information Technology*. – 2012. – №5(3). – P. 57–66.
66. Salisu AA, Ebuh GU, Usman N (2020) Revisiting oil-stock nexus during COVID-19 pandemic: some preliminary results. *Int Rev Econ Financ* 69:280–294
67. Salisu AA, Ebuh GU, Usman N (2020) Revisiting oil-stock nexus during COVID-19 pandemic: some preliminary results. *Int Rev Econ Financ* 69:280–294
68. Salisu AA, Sikiru AA (2020) Pandemics and the Asia-Pacific islamic stocks, 1. *Asian Economics Letters*, 1(1):17413
69. Salisu AA, Vo XV (2020) Predicting stock returns in the presence of COVID-19 pandemic: the role of health news. *Int Rev Financ Anal* 71:101546
70. Tharavanij P., Siraprapasiri V., Rajchamaha K. Profitability of candlestick charting patterns in the stock exchange of Thailand./ P. Tharavanij, V.Siraprapasiri, K. Rajchamaha// *SAGE Open*. – 2017. – №7(4). – P. 1– 18.
71. Topcu M, Gulal OS (2020) The impact of COVID-19 on emerging stock markets. *Financ Res Lett* 36:101691
72. Usman, Nuruddeen, and Seyi Saint Akadiri. “The persistence of precious metals and oil during the COVID-19 pandemic: evidence from a fractional integration and cointegration approach.” *Environmental science and pollution research international* vol. 29,3 (2022): 3648-3658. doi:10.1007/s11356-021-15479-w
73. Weron R. 2011a. DFA: Matlab function to compute the Hurst exponent using Detrended Fluctuation Analysis (DFA). [Электронный ресурс] – 2011. – Режим доступа до ресурсу: <https://ideas.repec.org/c/wuu/hrcode/m11002.html>

74. Weron R. 2011b. Hurst: Matlab function to compute the Hurst exponent using R/S Analysis. [Электронный ресурс] – 2011. – Режим доступа до ресурсу: <https://ideas.repec.org/c/wuu/hocode/m11003.html>

75. Xie H., Zhao X., Wang S. A comprehensive look at the predictive information in Japanese candlestick./ H.Xie, X.Zhao, S.Wang // Procedia Computer Science. – 2012. – №9. – P. 1219– 1227.

76. Zhang, Dayong, Min Hu, and Qiang Ji. “Financial markets under the global pandemic of COVID-19.” Finance Research Letters (2020): 101528

77. Zivot E., Wang J. Modeling financial time series with S-Plus® (Vol. 191). / E. Zivot, J. Wang. – Washington: Springer, 2007.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Результати симулювання «*hl*» середів і «*co*» середів для дорогоцінних металів та нафти.

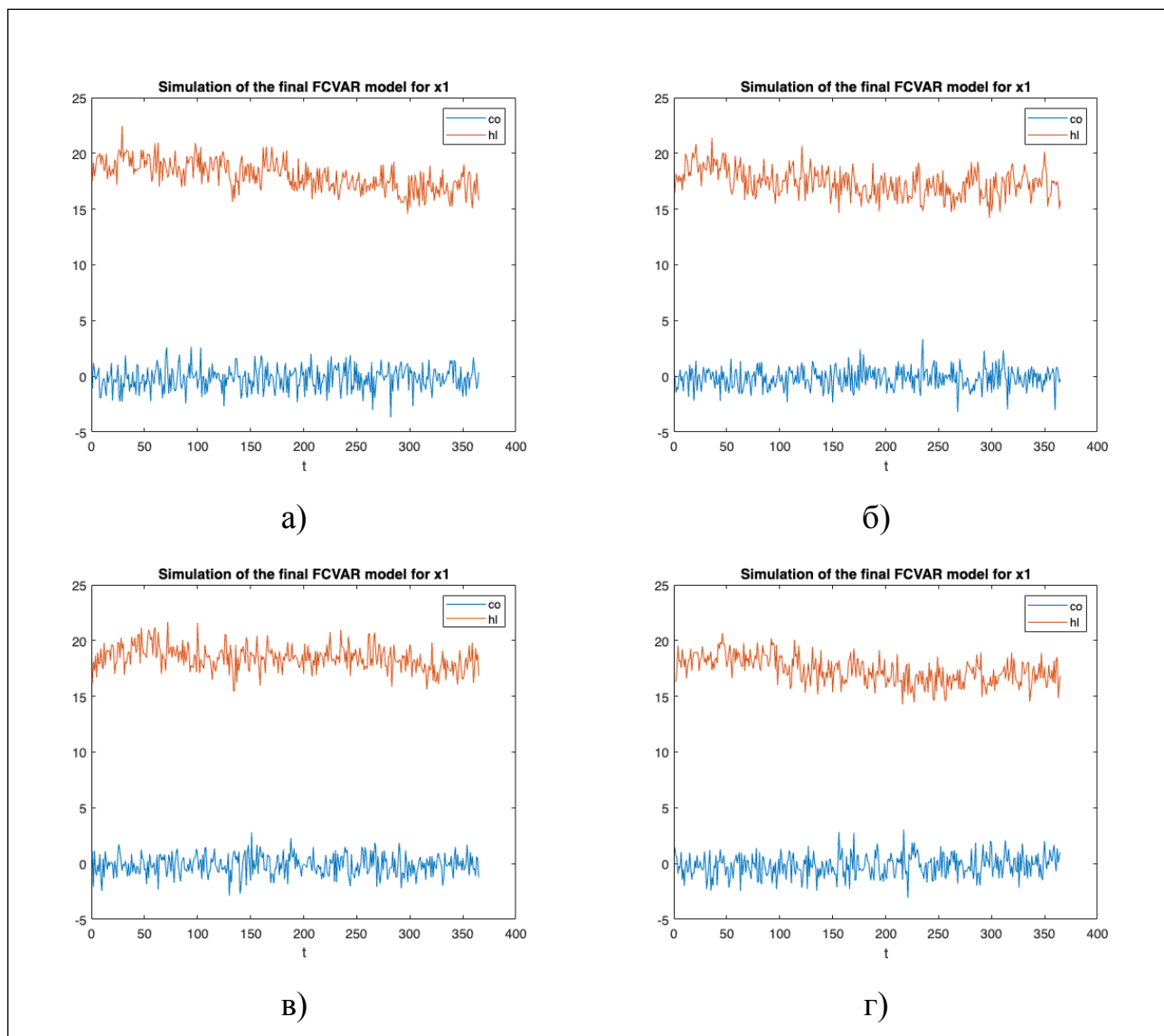


Рис. А.1. Результати симулювання «*hl*» середів і «*co*» середів для золота: а) №1, б) №2, в) №3 г) №4.

Джерело: розроблено автором.

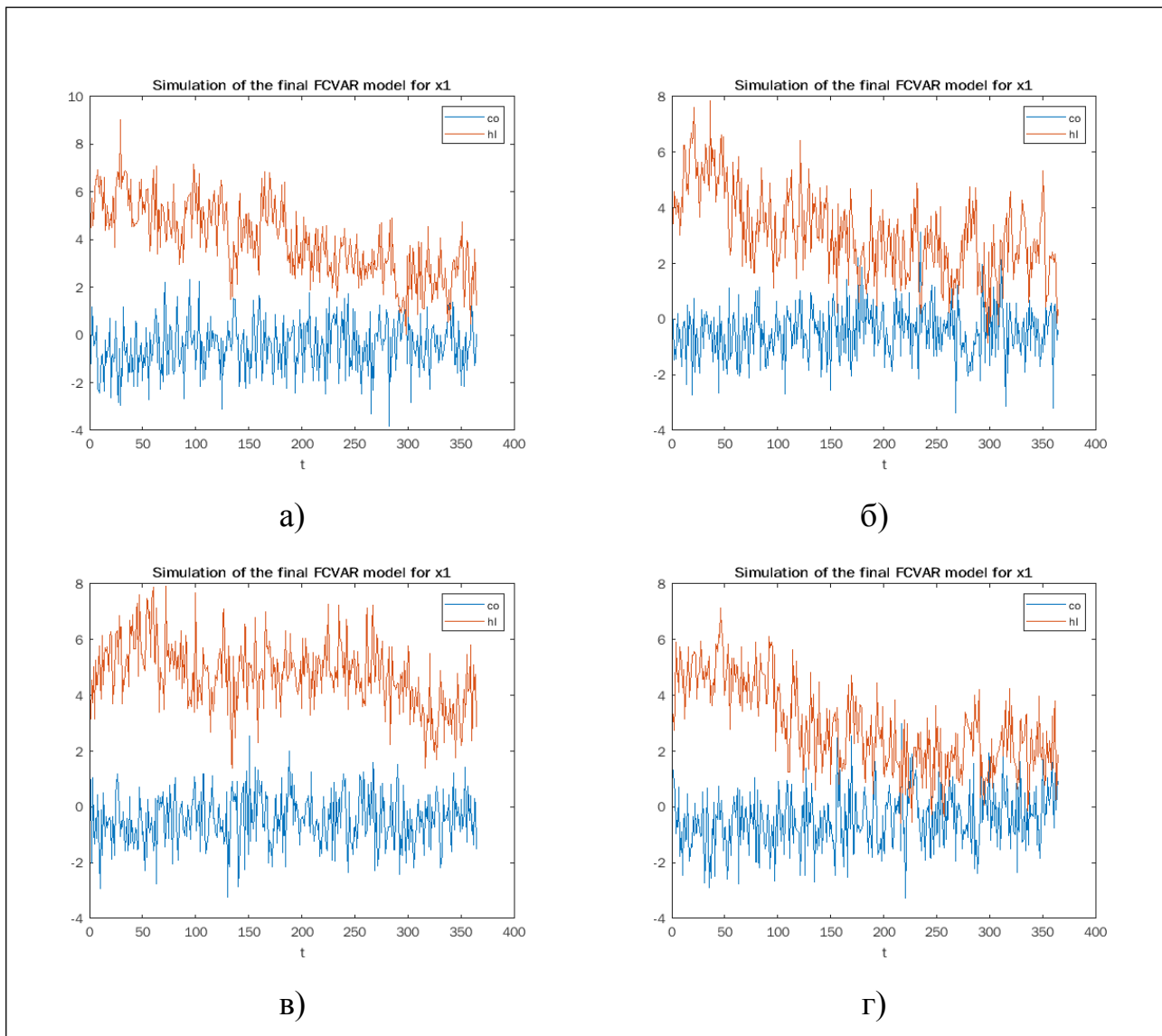


Рис. А.2. Результати симулювання « hl » спредів і « co » спредів для срібла: а) №1, б) №2, в) №3 г) №4.

Джерело: розроблено автором.

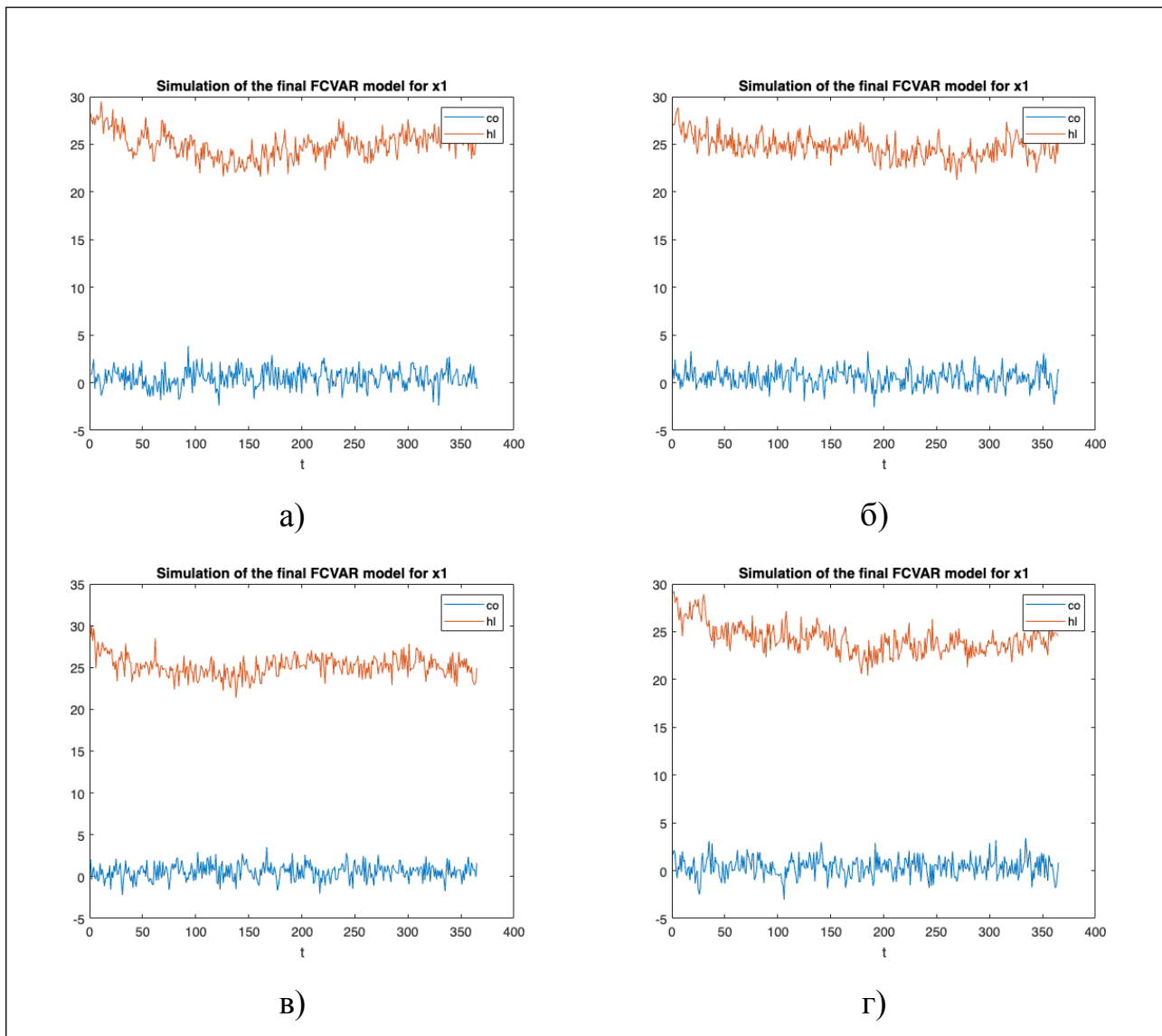


Рис. А.3. Результати симулювання «hl» середів і «co» середів для платини:
 а) №1, б) №2, в) №3 г) №4.

Джерело: розроблено автором.

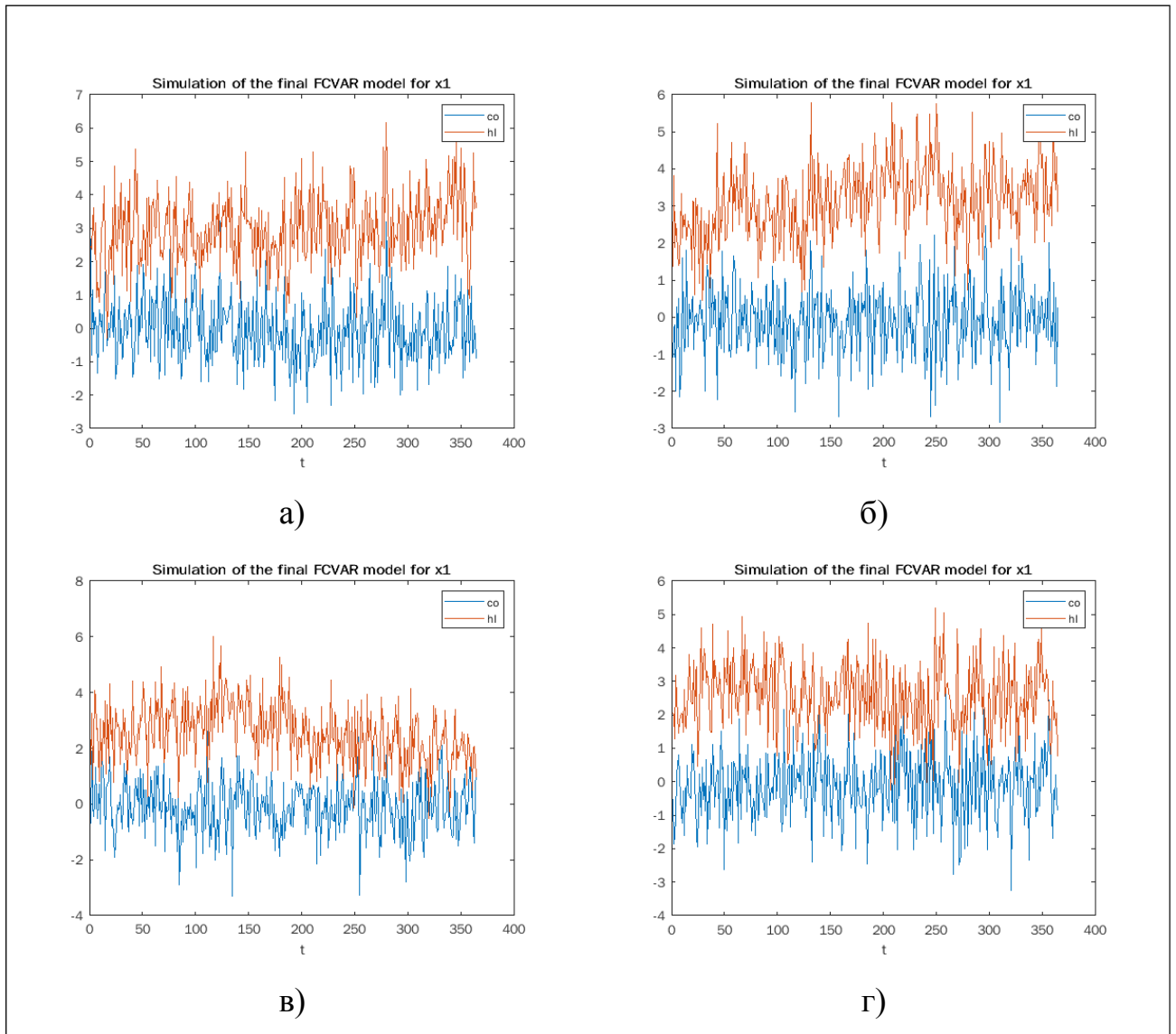


Рис. А.4. Результати симулювання «hl» середів і «co» середів для нафти сорту Brent: а) №1, б) №2, в) №3 г) №4.

Джерело: розроблено автором.

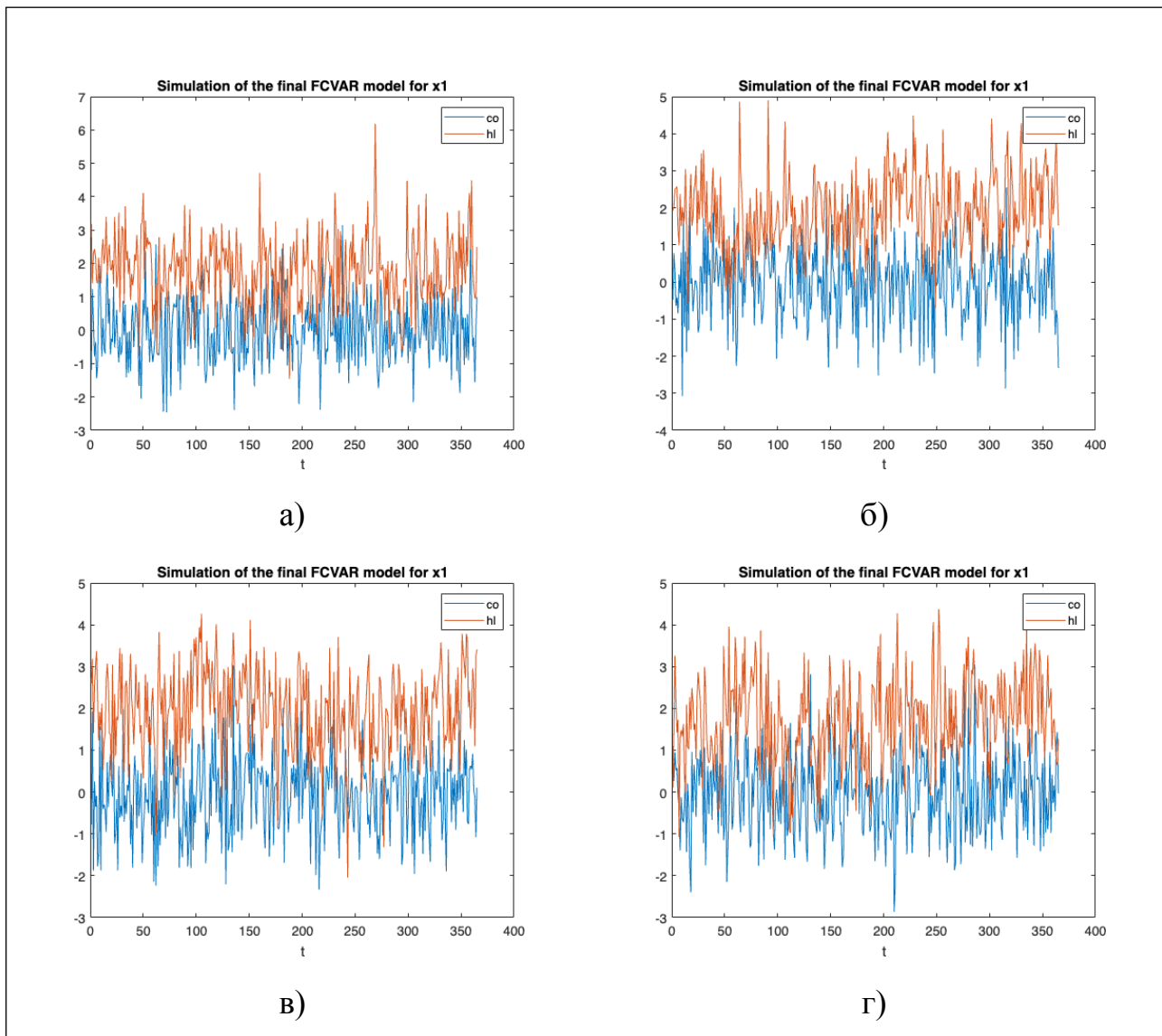


Рис. А.5. Результати симулювання « hl » середів і « co » середів для нафти сорту WTI: а) №1, б) №2, в) №3 г) №4.

Джерело: розроблено автором.

Динаміка цін відкриття(о) та закриття(с), максимальних(h) та мінімальних(l) щоденних цін, тенденції зміни «hl» спредів та «so» спредів для дорогоцінних металів та нафти.

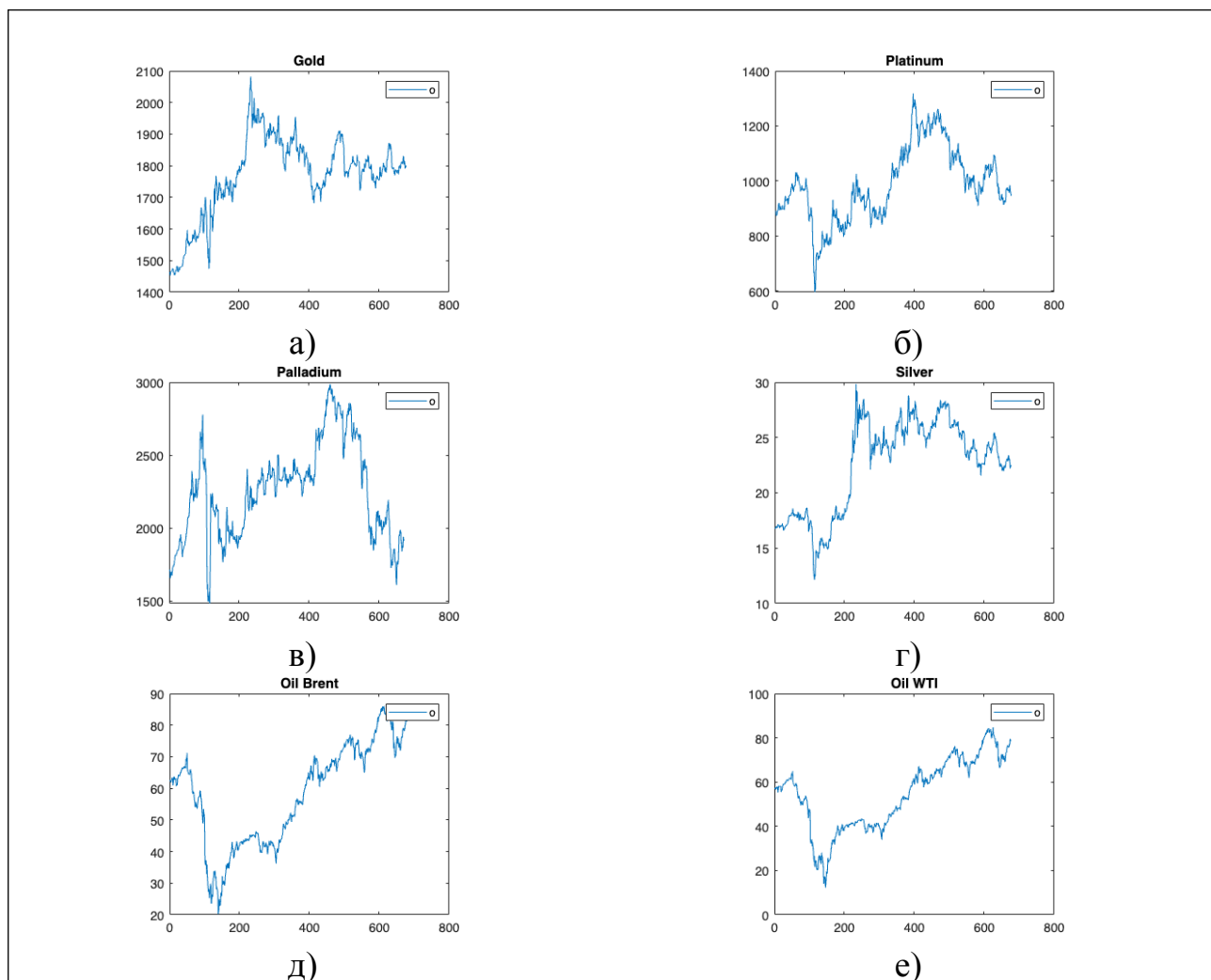


Рис. Б.1. Щоденні ціни відкриття для: а)золота, б)платини, в)паладію г)срібла, д)нафти сорту Brent, е) нафти сорту WTI.

Джерело: розроблено автором.

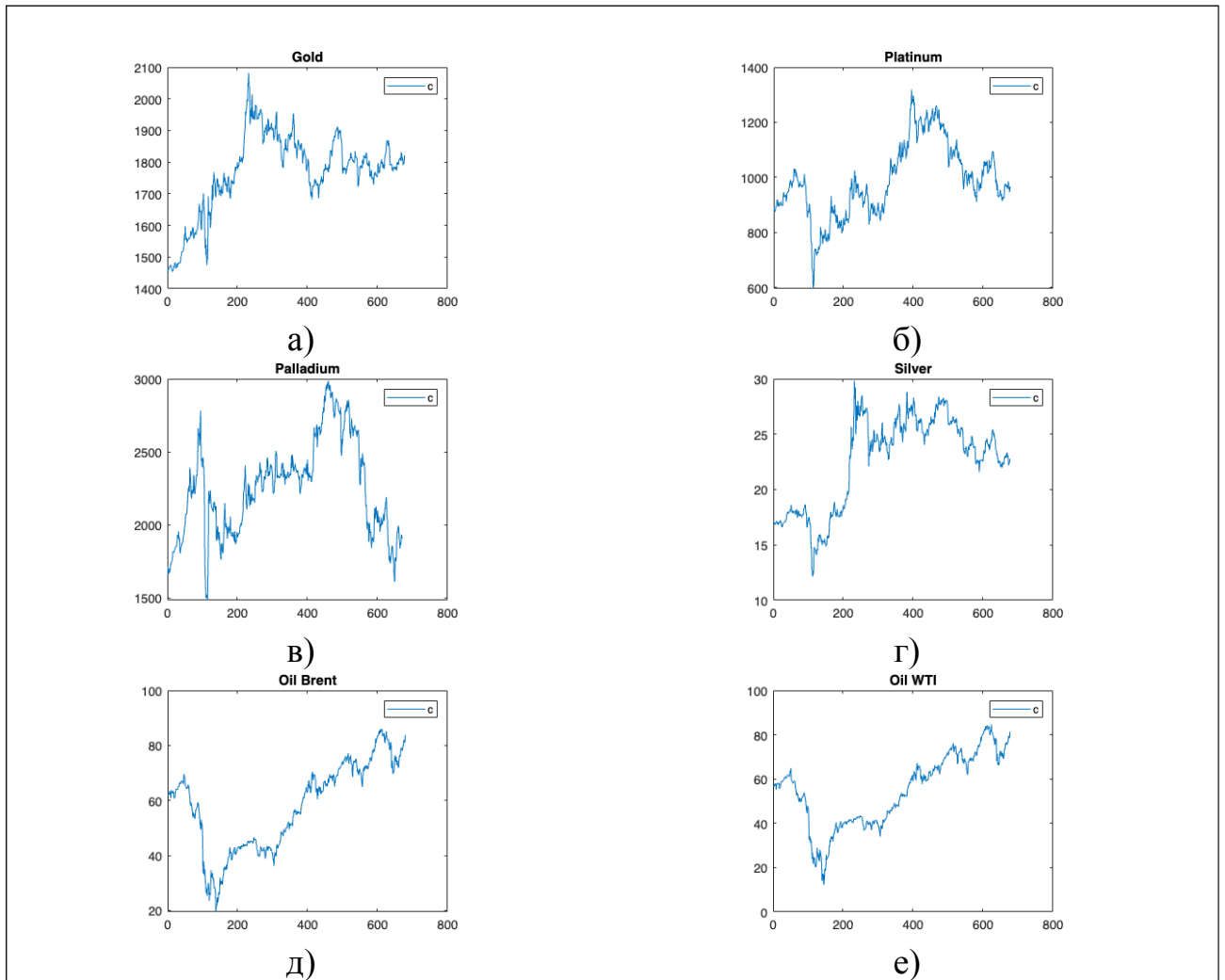


Рис. Б.2. Щоденні ціни закриття для: а)золота, б)платини, в)паладію г)срібла, д)нафти сорту Brent, е) нафти сорту WTI.

Джерело: розроблено автором.

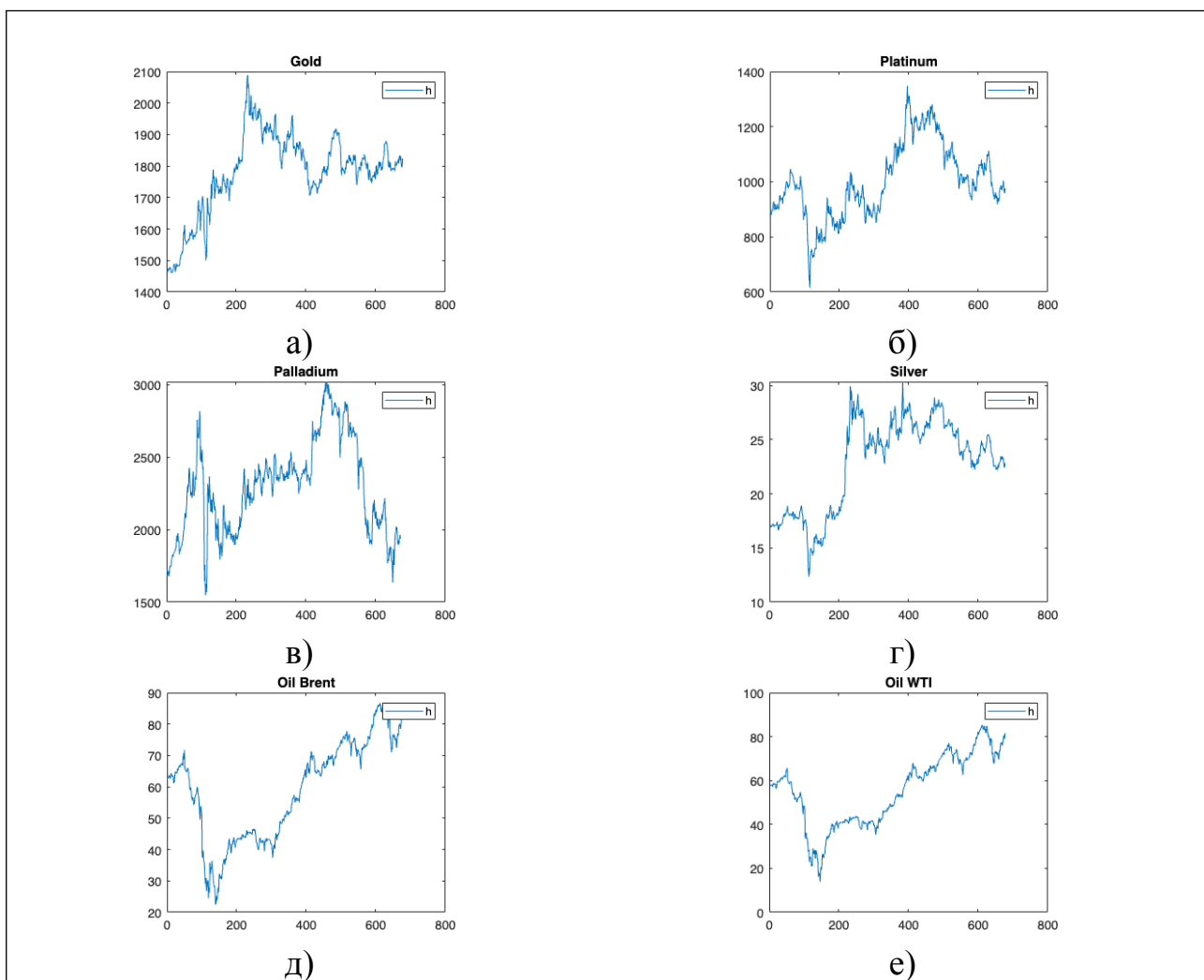


Рис. Б.3. Щоденні максимальні ціни для: а)золота, б)платини, в)паладію г)срібла, д)нафти сорту Brent, е) нафти сорту WTI.

Джерело: розроблено автором.

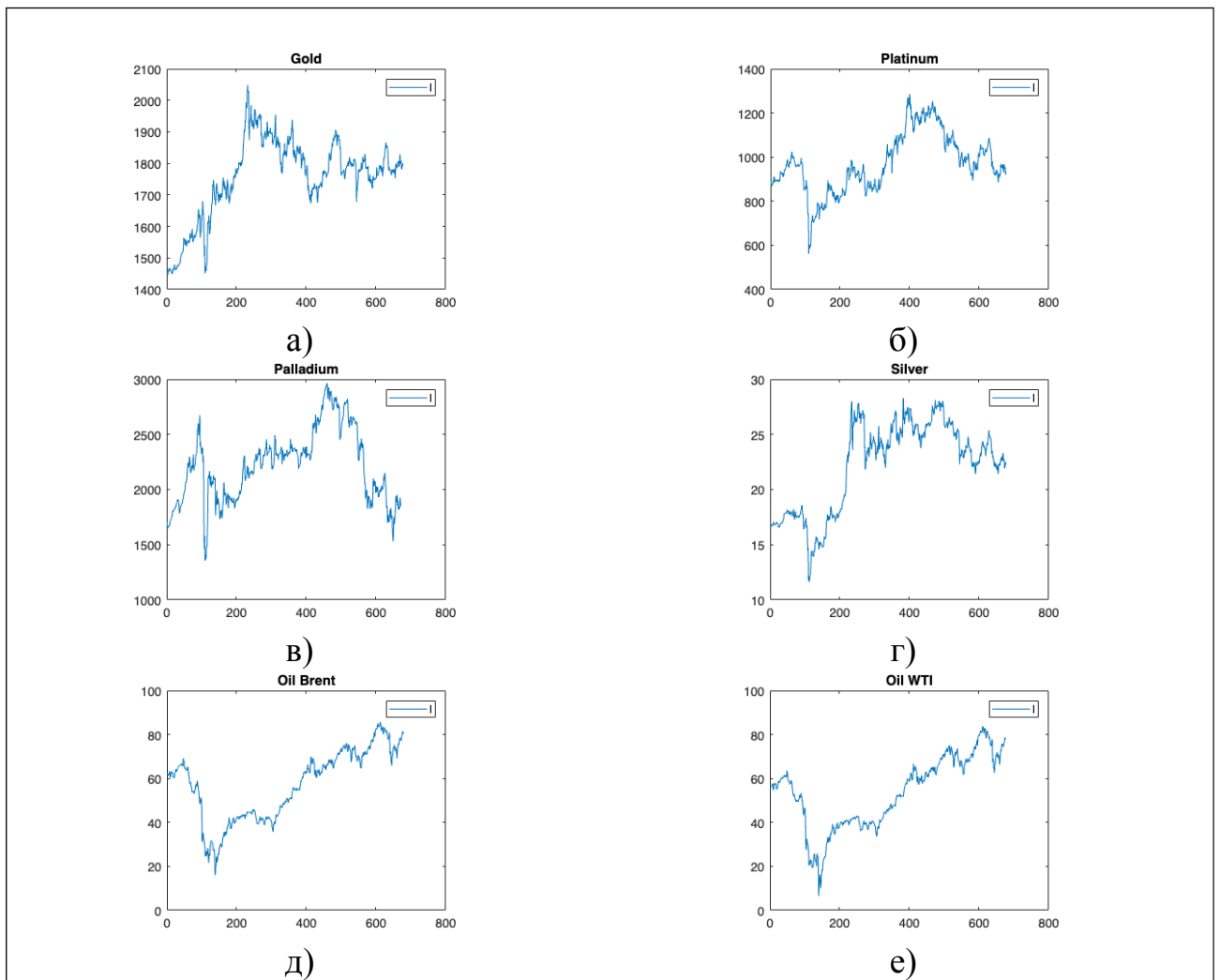


Рис. Б.4. Щоденні мінімальні ціни для: а)золота, б)платини, в)паладію г)срібла, д)нафти сорту Brent, е) нафти сорту WTI.

Джерело: розроблено автором.

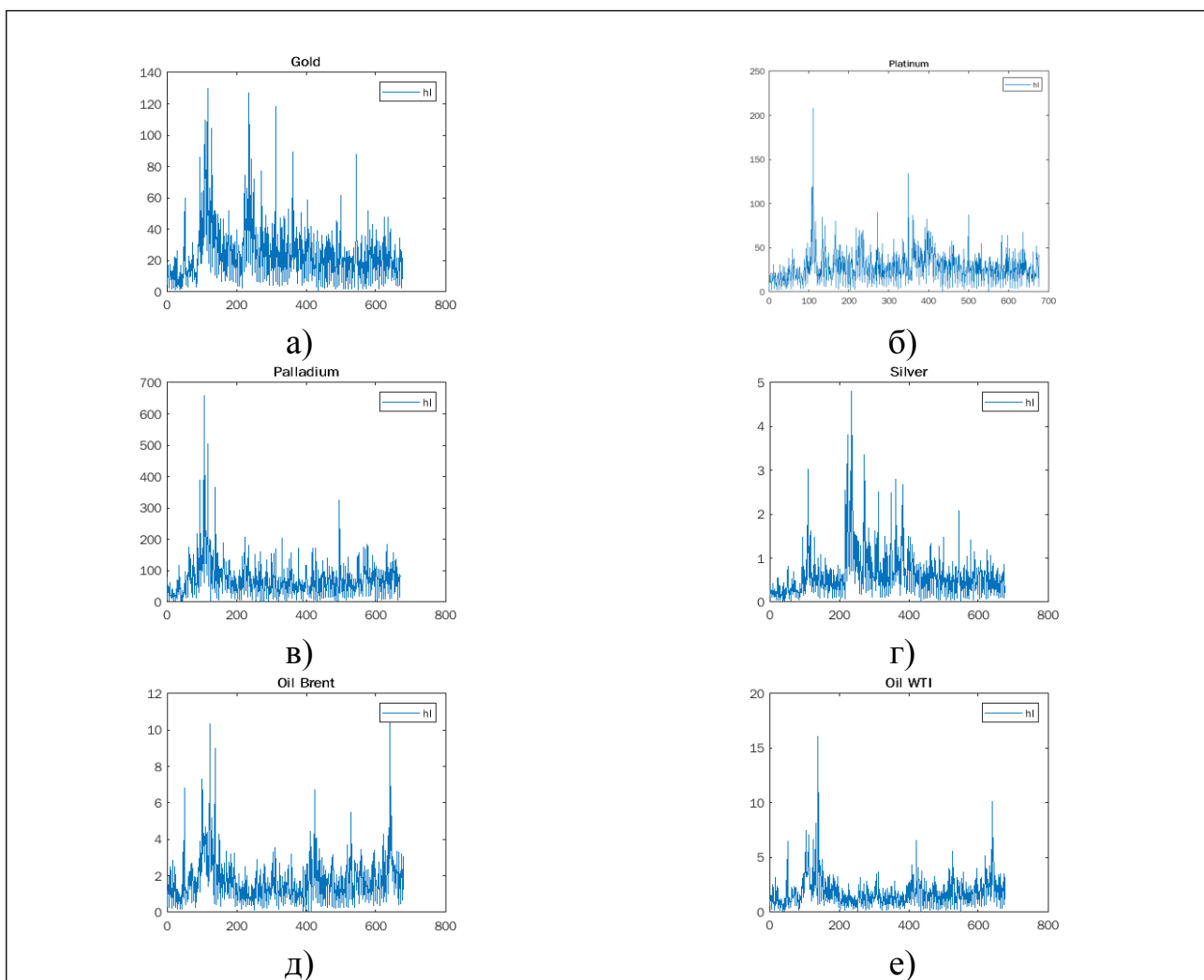


Рис. Б.5. Щоденні розкиди «hl» середів для: а)золота, б)платини, в)паладію г)срібла, д)нафти сорту Brent, е) нафти сорту WTI.

Джерело: розроблено автором.

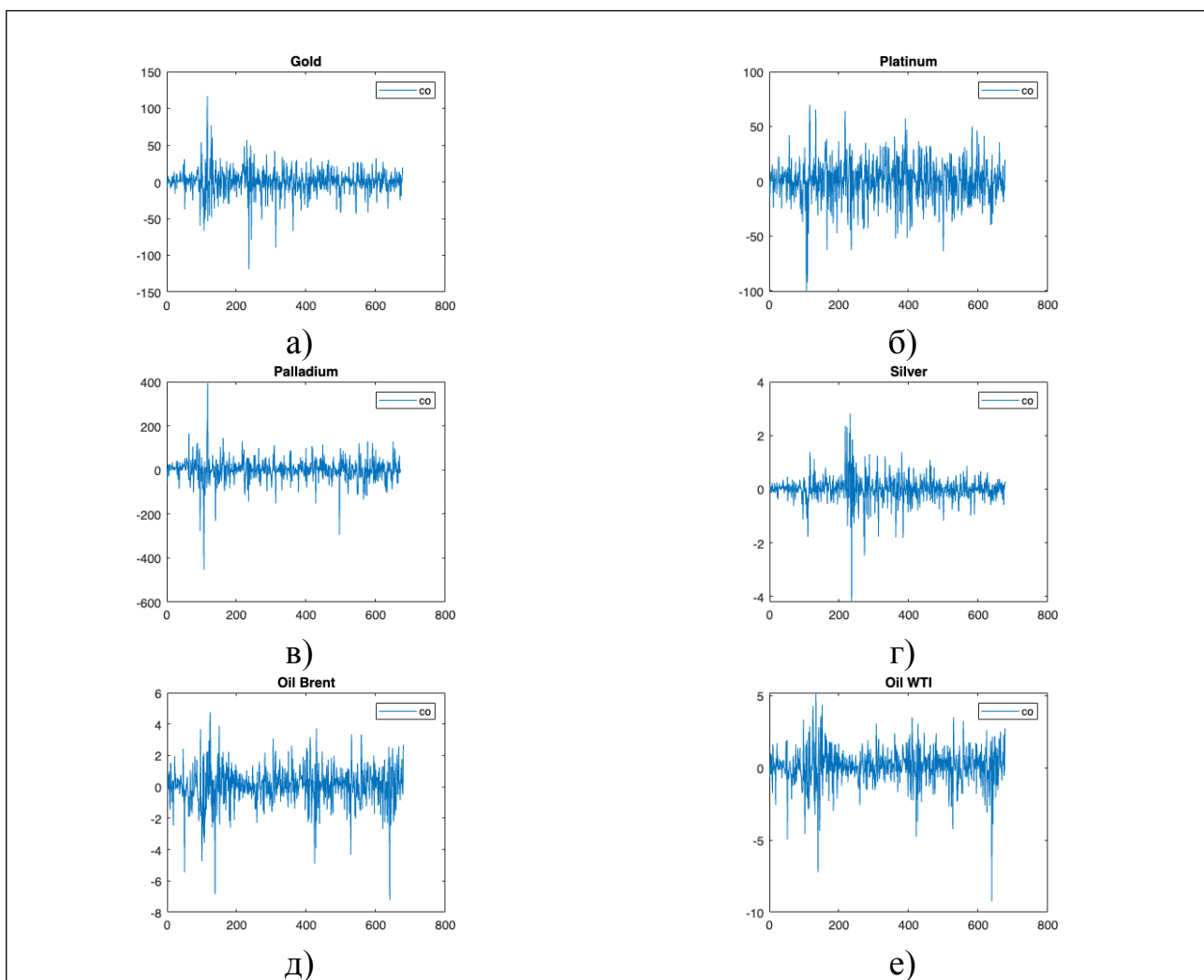


Рис. Б.6. Щоденні розкиди «со» середів для: а)золота, б)платини, в)паладію г)срібла, д)нафти сорту Brent, е) нафти сорту WTI.

Джерело: розроблено автором.

ДОДАТОК В

Результати дослідження впливу пандемії коронавірусу на біржові торги дорогоцінними металами та нафтою.

Таблиця В.1

Тестування вхідних даних на дробову інтеграцію

	Hurst-H	DFA-H	Hurst-d	DFA-d	Multifractal-H
Gold-co	0.5851	0.6008	0.0851	0.1008	0.3441
Gold-hl	0.8414	0.9110	0.3414	0.4110	0.4214
Silver-co	0.5377	0.5119	0.0377	0.0119	0.4551
Silver-hl	0.9892	0.9384	0.4892	0.4384	0.4359
Platinum-co	0.5062	0.5415	0.0062	0.0415	0.2839
Platinum-hl	0.8659	0.8268	0.3659	0.3268	0.2738
Palladium-co	0.5232	0.5455	0.0232	0.0455	0.2171
Palladium-hl	0.8723	0.9442	0.3723	0.4442	0.2274
Oil Brent-co	0.5848	0.5795	0.0848	0.0795	0.2075
Oil Brent-hl	0.9022	0.9846	0.4022	0.4846	0.1750
Oil WTI-co	0.5672	0.5590	0.0672	0.0590	0.1838
Oil WTI-hl	0.9218	0.9851	0.4218	0.4851	0.2625

Джерело: розроблено автором на основі часових рядів цін на дорогоцінні метали та нафту та використання кодів Matlab.

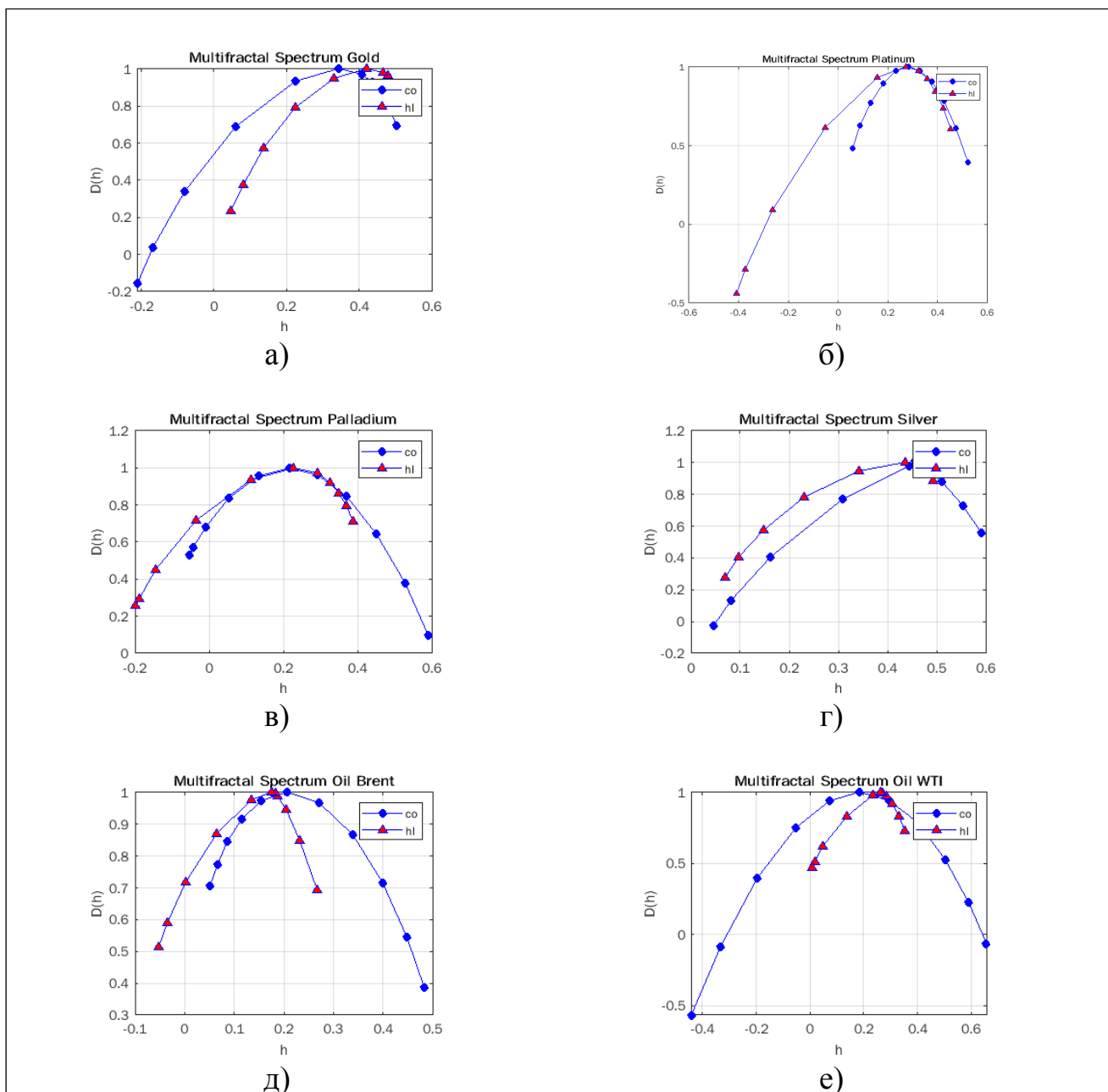


Рис. В.1. Мультифрактальний спектр для: а)золота, б)платини, в)паладію г)срібла, д)нафти сорту Brent, е) нафти сорту WTI.

Джерело: розроблено автором.

Таблиця В.2

Тестування моделей на значущість коефіцієнта вищого порядку лагу

	k	r	d	b	Log-likelihood	LR	p value	AIC	BIC
Model for Gold	3	2	0.185	0.185	-5723.92	11.34	0.023	11485.85*	11571.68
	2	2	0.010	0.010	-5729.59	15.46	0.004	11489.18	11556.95
	1	2	0.010	0.010	-5737.32	7.62	0.107	11496.65	11546.34
	0	2	0.155	0.155	-5741.13	0.00	0.000	11496.27	11527.89*
Model for Silver	3	2	0.615	0.615	-858.19	5.91	0.206	1754.37	1840.21
	2	2	0.470	0.470	-861.14	15.89	0.003	1752.28*	1820.05
	1	2	0.010	0.010	-869.08	10.97	0.027	1760.17	1809.86
	0	2	0.228	0.228	-874.57	0.00	0.000	1763.14	1794.77*
Model for Platinum	3	2	0.575	0.575	-5823.36	21.43	0.000	11684.72*	11770.55
	2	2	0.010	0.010	-5834.07	9.76	0.045	11698.15	11765.91
	1	2	0.010	0.010	-5838.96	6.31	0.177	11699.91	11749.60
	0	2	0.098	0.098	-5842.11	0.00	0.000	11698.22	11729.85*
Model for Palladium	3	2	0.137	0.137	-7217.38	7.42	0.115	14472.76	14558.42
	2	2	0.010	0.010	-7221.09	9.93	0.042	14472.18*	14539.81
	1	2	0.010	0.010	-7226.05	15.09	0.005	14474.11	14523.71
	0	2	0.207	0.207	-7233.60	0.00	0.000	14481.20	14512.76*

	k	r	d	b	Log-likelihood	LR	p value	AIC	BIC
Model for Oil Brent	3	2	0.070	0.070	-2086.36	13.15	0.011	4210.72*	4296.62
	2	2	0.440	0.440	-2092.94	14.50	0.006	4215.87	4283.68
	1	2	0.171	0.171	-2100.19	2.43	0.657	4222.38	4272.11
	0	2	0.114	0.114	-2101.40	0.00	0.000	4216.81	4248.45*
Model for Oil WTI	3	2	0.025	0.025	-2153.64	24.40	0.000	4345.28*	4431.12
	2	2	0.400	0.400	-2165.84	21.17	0.000	4361.68	4429.44
	1	2	0.200	0.200	-2176.42	5.13	0.274	4374.85	4424.54
	0	2	0.020	0.020	-2178.99	0.00	0.000	4371.97	4403.60*

Джерело: розроблено автором на основі часових рядів цін на дорогоцінні метали та нафту та використання кодів Matlab

Тестування моделей на значущість коефіцієнта вищого порядку лагу для
коінтеграційного рангу

	Rank	d	b	Log-likelihood	LR statistic	p value
Model for Gold	0	0.010	0.010	-5737.565	15.947	0.003
	1	0.010	0.010	-5732.825	6.468	0.011
	2	0.010	0.010	-5729.591	----	----
Model for Silver	0	0.010	0.010	-869.292	16.303	0.003
	1	0.497	0.497	-861.485	0.690	0.406
	2	0.470	0.470	-861.140	----	----
Model for Platinum	0	0.010	0.010	-5839.069	9.992	0.041
	1	0.010	0.010	-5834.817	1.487	0.223
	2	0.010	0.010	-5834.073	----	----
Model for Palladium	0	0.010	0.010	-7226.180	10.184	0.037
	1	0.010	0.010	-7221.749	1.322	0.250
	2	0.010	0.010	-7221.088	----	----
Model for Oil Brent	0	0.075	0.075	-2100.236	14.597	0.006
	1	0.469	0.469	-2093.196	0.518	0.472
	2	0.440	0.440	-2092.937	----	----
Model for Oil WTI	0	0.110	0.110	-2176.339	20.999	0.000
	1	0.424	0.424	-2166.661	1.644	0.200
	2	0.400	0.400	-2165.839	----	----

Джерело: розроблено автором на основі часових рядів цін на дорогоцінні метали та нафту та використання кодів Matlab.

Коди комп'ютерної програми Matlab, які використовувалися при дослідженні FCVAR моделі для дорогоцінних металів та сортів нафти надані на прикладі платини.

ДАТА 10.01.2008 - 10.01.2022

```
clear all;
%-----Import data
data = csvread('PL_080110_220110.csv',1); %skip first row because var name
%data for each model
c=data(:,6);
o=data(:,3);
h=data(:,4);
l=data(:,5);
co=c-o; %% co=close-open
hl=h-l; %% hl=high-low
data(:, [8 9])= [co hl];
%% x1 full series
%% x2 positive spreads
%% x3 negative spreads
x1=data(:,[8 9]);
plot(x1)
title('Platinum');
legend('co', 'hl')
x1=sortrows(x1,1);
data(:,[10 11])=x1;
x2=data(2079:4333,[10 11]);
x3=data(1:2078,[10 11]);
%%Тести на фракційну інтеграцію
%%Table1 (необхідно самостійно формувати з отриманих даних)
%Hurst test
H_co=hurst(co) %% H_co - H exponent for close-open
H_hl=hurst(hl) %% H_hl - H exponent for high-low
%DFA test
D_co=dfa(co) %% D_co - H exponent for close-open
D_hl=dfa(hl) %% D_hl - H exponent for high-low
%% d=H exponent-0,5
%% d from Hurst test
d_H_co=H_co-0.5
d_H_hl=H_hl-0.5
%% d from DFA test
d_D_co=D_co-0.5
d_D_hl=D_hl-0.5
%Multifractal spectrum
[dh1,h1,cp1,tauq1] = dwtleader(co);
[dh2,h2,cp2,tauq2] = dwtleader(hl);
figure;
hp = plot(h1,dh1,'b-o',h2,dh2,'b-^');
hp(1).MarkerFaceColor = 'b';
hp(2).MarkerFaceColor = 'r';
```

```

grid on;
xlabel('h'); ylabel('D(h)');
legend('co','hl','Location','NorthEast');
title('Multifractal Spectrum Platinum');

%%Специфікація моделі FCVAR
%% ----- INITIALIZATION ----- %
p = size(x1, 2); % system dimension. %
kmax = 3; % maximum number of lags for VECM.
order = 12; % number of lags for white noise test in lag selection.
printWNtest = 1; % to print results of white noise tests post -estimation.
%-----Choosing estimation options
opt = EstOptions; % Define variable to store Estimation Options (object)
opt.dbMin = [0.01 0.01]; % lower bound for d, b
opt.dbMax = [2.00 2.00]; % upper bound for d, b
opt.unrConstant = 0; % include an unrestricted constant? 1 = yes, 0 = no
opt.rConstant = 0; % include a restricted constant? 1 = yes, 0 = no
opt.levelParam = 1; % include level parameter? 1 = yes, 0 = no
opt.constrained = 0; % impose restriction dbMax >= d >= b >= dbMin? 1 = yes, 0 = no
opt.restrictDB = 1; % impose restriction d=b? 1 = yes, 0 = no
opt.db0 = [.8 .8]; % set starting values for optimization algorithm
opt.N = 0; % number of initial values to condition upon
opt.print2screen = 1; % print output
opt.printRoots = 1; % print roots of characteristic
opt.plotRoots = 1; % plot roots of characteristic polynomial
opt.gridSearch = 0; % For more accurate estimation, perform the grid search.
    % This will make estimation take longer
opt.plotLike = 0; % Plot the likelihood (if gridSearch = 1)
opt.progress = 0; % Show grid search progress indicator waitbar
opt.updateTime = 5; % How often progress is updated (seconds)
%Linux example
opt.progLoc = "H:FCVAR/fdpval"; % location path with program name
    % of fracdist program, if installed
    % NOTE: use both single (outside) and
    % double quotes (inside). This is
    % especially important if path name has
    % space
DefaultOpt = opt; % store the options for restoring them in between hypothesis
%% Table2 for x1
%% Lag Selection Results
%-----Select lag-order -----
LagSelect(x1, kmax, p, order, opt);
%% Table3 for x1
%% Likelihood Ratio Tests for Cointegrating Rank
%-----COINTEGRATION RANK Test-----
k=2; % lag parameter
rankTestStats = RankTests(x1,k,opt);
%% Table4 for x1
%-- UNRESTRICTED MODEL ESTIMATION
r=1;
opt1 = DefaultOpt; % graph
m1 = FCVARestn(x1, k, r, opt1); % This model is now in the structure m1.
title('Platinum'); % table4

```

```

    %Fractionally Cointegrated VAR: Estimation Results
mv_wntest(m1.Residuals, order, printWNtest); % White Noise Test Results (lag = 12)
%% ----- INITIALIZATION ----- %
p2 = size(x2, 2); % system dimension. %
%% Table2 for x2
%% Lag Selection Results
%-----Select lag-order -----
LagSelect(x2, kmax, p2, order, opt);
%% Table3 for x2
%% Likelihood Ratio Tests for Cointegrating Rank
%-----COINTEGRATION RANK Test-----
k=2; % lag parameter
rankTestStats = RankTests(x2,k,opt);
%% Table4 for x2
%-- UNRESTRICTED MODEL ESTIMATION
r=1;
opt2 = DefaultOpt; % graph
m2 = FCVARestn(x2, k, r, opt2); % This model is now in the structure m1.
    %table4
    %Fractionally Cointegrated VAR: Estimation Results
mv_wntest(m2.Residuals, order, printWNtest); % White Noise Test Results (lag = 12)
%% ----- INITIALIZATION ----- %
p3 = size(x3, 2); % system dimension. %
%% Table2 for x3
%% Lag Selection Results
%-----Select lag-order -----
LagSelect(x3, kmax, p3, order, opt);
%% Table3 for x3
%% Likelihood Ratio Tests for Cointegrating Rank
%-----COINTEGRATION RANK Test-----
k=2; % lag parameter
rankTestStats = RankTests(x3,k,opt);
%% Table4 for x3
%-- UNRESTRICTED MODEL ESTIMATION
r=1;
opt3 = DefaultOpt; % graph
m3 = FCVARestn(x3, k, r, opt3); % This model is now in the structure m1.
    %table4
    %Fractionally Cointegrated VAR: Estimation Results
mv_wntest(m3.Residuals, order, printWNtest); % White Noise Test Results (lag = 12)
%% ----- FORECAST FOR X1 ----- %
% Forecast from the final restricted model.
NumPeriods = 365; % forecast horizon set to 365 days ahead.
% Assign the model whose coefficients will be used for forecasting.
modelF = m1;
xf_1 = FCVARforecast(x1, modelF, NumPeriods);
fprintf(' forecast for x1\n co hl\n')
disp(xf_1);
% Series including forecast.
seriesF = [x1; xf_1];
% Equilibrium relation including forecasts.
equilF = seriesF*modelF.coeffs.betaHat;

```

```

% Determine the size of the vertical line to delimit data and forecast
% values.
T = size(x1,1);
yMaxS = max(max(seriesF));
yMinS = min(min(seriesF));
yMaxEq = max(max(equilF));
yMinEq = min(min(equilF));
plot(xf_1)
title('forecast for x1');
legend('co', 'hl')
% Plot the results.
figure
subplot(2,1,1);
plot(seriesF),
title('Series including forecast for x1'), xlabel('t');
line([T T], [yMinS yMaxS], 'Color','k');
subplot(2,1,2);
plot(equilF),
title('Equilibrium relation including forecasts for x1'), xlabel('t');
line([T T], [yMinEq yMaxEq], 'Color','k');
%% ----- SIMULATION FOR X1 ----- %
% Simulate the final restricted model, the same one used for forecasting
% above.
% Number of periods to simulate
T_sim = 365;
% Simulate data 1
xSim1_1 = FCVARsim(x1, modelF, T_sim);
% Plot the results
figure;
plot(xSim1_1)
title('Simulation of the final FCVAR model for x1'), xlabel('t');
legend('co', 'hl')
% Simulate data 2
xSim1_2 = FCVARsim(x1, modelF, T_sim);
% Plot the results
figure;
plot(xSim1_2)
title('Simulation of the final FCVAR model for x1'), xlabel('t');
legend('co', 'hl')
% Simulate data 3
xSim1_3 = FCVARsim(x1, modelF, T_sim);
% Plot the results
figure;
plot(xSim1_3)
title('Simulation of the final FCVAR model for x1'), xlabel('t');
legend('co', 'hl')
% Simulate data 4
xSim1_4 = FCVARsim(x1, modelF, T_sim);
% Plot the results
figure;
plot(xSim1_4)
title('Simulation of the final FCVAR model for x1'), xlabel('t');

```

```

legend('co', 'hl')
aver_simul_1=(xSim1_1+xSim1_2+xSim1_3+xSim1_4)/4;
figure;
plot(aver_simul_1)
title('Average simulation of the final FCVAR model for x1'), xlabel('t');
legend('co', 'hl')
fprintf(' simulation for x1\n co hl\n')
disp(aver_simul_1);

```

DATA 10.11.2019 - 10.01.2022

```

clear all;
%-----Import data
data = csvread('PL_191110_220110.csv',1); %skip first row because var name
%data for each model
c=data(:,6);
o=data(:,3);
h=data(:,4);
l=data(:,5);
co=c-o; %% co=close-open
hl=h-l; %% hl=high-low
plot(c)
title('Platinum');
legend('c')
plot(o)
title('Platinum');
legend('o')
plot(h)
title('Platinum');
legend('h')
plot(l)
title('Platinum');
legend('l')
plot(co)
title('Platinum');
legend('co')
plot(hl)
title('Platinum');
legend('hl')
data(:, [8 9])= [co hl];
%% x1 full series
%% x2 positive spreads
%% x3 negative spreads
x1=data(:,[8 9]);
plot(x1)
title('Platinum');
legend('co', 'hl')
x1=sortrows(x1,1);
data(:,[10 11])=x1;
x2=data(322:677,[10 11]);
x3=data(1:321,[10 11]);
%%Тести на фракційну інтеграцію
%%Table1 (необхідно самостійно формувати з отриманих даних)

```

```

%Hurst test
H_co=hurst(co) %% H_co - H exponent for close-open
H_hl=hurst(hl) %% H_hl - H exponent for high-low
%DFA test
D_co=dfa(co) %% D_co - H exponent for close-open
D_hl=dfa(hl) %% D_hl - H exponent for high-low
%% d=H exponent-0,5
%% d from Hurst test
d_H_co=H_co-0.5
d_H_hl=H_hl-0.5
%% d from DFA test
d_D_co=D_co-0.5
d_D_hl=D_hl-0.5
%Multifractal spectrum
[dh1,h1,cp1,tauq1] = dwtleader(co);
[dh2,h2,cp2,tauq2] = dwtleader(hl);
figure;
hp = plot(h1,dh1,'b-o',h2,dh2,'b-^');
hp(1).MarkerFaceColor = 'b';
hp(2).MarkerFaceColor = 'r';
grid on;
xlabel('h'); ylabel('D(h)');
legend('co','hl','Location','NorthEast');
title('Multifractal Spectrum Platinum');

%%Специфікація моделі FCVAR
%% ----- INITIALIZATION ----- %
p = size(x1, 2); % system dimension. %
kmax = 3; % maximum number of lags for VECM.
order = 12; % number of lags for white noise test in lag selection.
printWNtest = 1; % to print results of white noise tests post -estimation.
%-----Choosing estimation options
opt = EstOptions; % Define variable to store Estimation Options (object)
opt.dbMin = [0.01 0.01]; % lower bound for d, b
opt.dbMax = [2.00 2.00]; % upper bound for d, b
opt.unrConstant = 0; % include an unrestricted constant? 1 = yes, 0 = no
opt.rConstant = 0; % include a restricted constant? 1 = yes, 0 = no
opt.levelParam = 1; % include level parameter? 1 = yes, 0 = no
opt.constrained = 0; % impose restriction dbMax >= d >= b >= dbMin? 1 = yes, 0 = no
opt.restrictDB = 1; % impose restriction d=b? 1 = yes, 0 = no
opt.db0 = [.8 .8]; % set starting values for optimization algorithm
opt.N = 0; % number of initial values to condition upon
opt.print2screen = 1; % print output
opt.printRoots = 1; % print roots of characteristic
opt.plotRoots = 1; % plot roots of characteristic polynomial
opt.gridSearch = 0; % For more accurate estimation, perform the grid search.
% This will make estimation take longer
opt.plotLike = 0; % Plot the likelihood (if gridSearch = 1)
opt.progress = 0; % Show grid search progress indicator waitbar
opt.updateTime = 5; % How often progress is updated (seconds)
%Linux example
opt.progLoc = "H:FCVAR/fdpval"; % location path with program name
% of fracdist program, if installed

```

```

%NOTE: use both single (outside) and
%double quotes (inside). This is
%especially important if path name has
%space
DefaultOpt = opt; % store the options for restoring them in between hypothesis
%% Table2 for x1
%% Lag Selection Results
%-----Select lag-order -----
LagSelect(x1, kmax, p, order, opt);
%% Table3 for x1
%% Likelihood Ratio Tests for Cointegrating Rank
%-----COINTEGRATION RANK Test-----
k=2; %lag parameter
rankTestStats = RankTests(x1,k,opt);
%% Table4 for x1
%-- UNRESTRICTED MODEL ESTIMATION
r=1;
opt1 = DefaultOpt; %graph
m1 = FCVARestn(x1, k, r, opt1); % This model is now in the structure m1.
title('Platinum'); %table4
%Fractionally Cointegrated VAR: Estimation Results
mv_wntest(m1.Residuals, order, printWNtest); % White Noise Test Results (lag = 12)
%% ----- INITIALIZATION ----- %
p2 = size(x2, 2); % system dimension. %
%% Table2 for x2
%% Lag Selection Results
%-----Select lag-order -----
LagSelect(x2, kmax, p2, order, opt);
%% Table3 for x2
%% Likelihood Ratio Tests for Cointegrating Rank
%-----COINTEGRATION RANK Test-----
k=2; %lag parameter
rankTestStats = RankTests(x2,k,opt);
%% Table4 for x2
%-- UNRESTRICTED MODEL ESTIMATION
r=1;
opt2 = DefaultOpt; %graph
m2 = FCVARestn(x2, k, r, opt2); % This model is now in the structure m1.
%table4 %Fractionally Cointegrated VAR: Estimation Results
mv_wntest(m2.Residuals, order, printWNtest); % White Noise Test Results (lag = 12)
%% ----- INITIALIZATION ----- %
p3 = size(x3, 2); % system dimension. %
%% Table2 for x3
%% Lag Selection Results
%-----Select lag-order -----
LagSelect(x3, kmax, p3, order, opt);
%% Table3 for x3
%% Likelihood Ratio Tests for Cointegrating Rank
%-----COINTEGRATION RANK Test-----
k=2; %lag parameter
rankTestStats = RankTests(x3,k,opt);
%% Table4 for x3 % --UNRESTRICTED MODEL ESTIMATION

```

```
r=1;
opt3 = DefaultOpt; %graph
m3 = FCVARestn(x3, k, r, opt3); % This model is now in the structure m3.
%table4 %Fractionally Cointegrated VAR: Estimation Results
mv_wntest(m3.Residuals, order, printWNtest); %White Noise Test Results (lag = 12)
```

Календарний план виконання кваліфікаційної роботи магістра

№	Етапи роботи	Терміни виконання	Відмітка керівника про виконання
1.	Вибір теми кваліфікаційної роботи магістра.	01.09.2021- 15.09.2021	
2.	Розробка та затвердження завдання на кваліфікаційну роботу магістра.	16.09.2021- 24.09.2021	
3.	Дослідження теоретико-економічних відомостей щодо функціонування товарних бірж та проведення на них торгів.	25.09.2021 - 25.10.2021	
4.	Аналіз монографічних праць зарубіжних вчених-економістів щодо дослідження показників біржової діяльності за допомогою існуючих видів аналізу.	26.10.2021- 26.11.2021	
5.	Вивчення існуючих досліджень FCVAR моделі іноземних науковців.	27.11.2021- 27.12.2021	
6.	Дослідження впливу щоденних максимальних/мінімальних спредів на спреди закриття/відкриття для дорогоцінних металів та нафти на товарній біржі за допомогою чотирьох типів FCVAR моделі у комп'ютерній програмі Matlab.	28.12.2021- 18.02.2022	
7.	Побудова прогнозу та симулювання величини максимальних/мінімальних спредів та спредів закриття/відкриття для	19.02.2022- 19.03.2022	

№	Етапи роботи	Терміни виконання	Відмітка керівника про виконання
	дорогоцінних металів та нафти на 365 днів вперед.		
8.	Аналіз впливу пандемії коронавірусу на рівень цін на дорогоцінні метали та сорти нафти на біржових торгах, використовуючи FCVAR модель.	20.03.2022-14.04.2022	

Науковий керівник: к.ф.-м.н., доцент, Кравець Тетяна Вікторівна

Студент: Бобро Ольга Андріївна

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Економічний факультет

Кафедра економічної кібернетики

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра

студентки 2 курсу магістратури спеціальності 051 «Економіка», ОНП

«Економічна кібернетика»

Бобро Ольги Андріївни

1. Тема роботи: FCVAR моделювання стійкості цінових рядів дорогоцінних металів та нафти під час пандемії COVID-19.
2. Термін завершення роботи: 14 квітня 2022 року.
3. Об'єкт дослідження: максимальні/мінімальні спреда та спреда закриття/відкриття на дорогоцінні метали та сорти нафти на товарній біржі.
4. Предмет дослідження: моделювання та оцінювання максимальних/мінімальних спредів і спредів закриття/відкриття для дорогоцінних металів та сортів нафти на товарній біржі, використовуючи FCVAR модель.
5. Мета дослідження: визначити основні закономірності та взаємозв'язки між максимальними/мінімальними спредами та спредами закриття/відкриття на дорогоцінні метали та сорти нафти на підставі економетричної моделі.
6. Завдання дослідження:
 - 6.1 Дослідження основних параметрів торгів на товарній біржі;
 - 6.2 Вивчення існуючих досліджень FCVAR моделі;
 - 6.3 Аналіз статистичних даних;
 - 6.4 Визначення взаємозв'язків між максимальними/мінімальними спредами та спредами закриття/відкриття на дорогоцінні метали та сорти нафти;

6.5 Дослідження взаємозалежностей між максимальними/мінімальними спредами та спредами закриття/відкриття для дорогоцінних металів та сортів нафти за допомогою FCVAR моделі.

Науковий керівник: к.ф.-м.н., доцент Кравець Тетяна Вікторівна

Студент: *О. Бобуро*

(підпис)

Затверджено на засіданні кафедри економічної кібернетики
протокол №3 від 12 жовтня 2021 р.