

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Навчально-науковий інститут бізнес-технологій «УАБС»
Кафедра економічної кібернетики

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему «Прогнозування динаміки курсу Bitcoin на основі фрактального аналізу»

Виконала студентка 2 курсу, групи ЕК.м-91а
(номер курсу) (шифр групи)
спеціальності 051 «Економіка («Економічна
кібернетика»))»

Орехова Я.В.

(прізвище, ініціали студента)

Керівник: доцент, к.т.н. Гриценко К.Г.

(посада, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

кваліфікаційної магістерської роботи на тему «ПРОГНОЗУВАННЯ ДИНАМІКИ КУРСУ ВІТСОІН НА ОСНОВІ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛІЗУ»

Студентки Орехової Ярослави Василівни

Актуальність кваліфікаційної магістерської роботи визначена стрімким розвитком криптовалют. За умов стрімкої появи нових видів криптовалют та зростання їх впливу на фінансовий ринок, виникає необхідність в детальному вивченні даної тематики та пошуку рішень для прогнозування динаміки курсів криптовалют.

Мета кваліфікаційної роботи – моделювання курсу Bitcoin на основі фрактального аналізу в інтересах підвищення точності прогнозування.

Об'єкт дослідження – ціни на Bitcoin по відношенню до курсу долару.

Предмет дослідження – математичні методи моделювання, аналізу та прогнозування курсу Bitcoin.

У відповідності до поставлених завдань було здійснено: дослідження предметної області для вирішення поставленого завдання, дослідження існуючих методів та моделей прогнозування ринку криптовалют, опис та реалізацію фрактального методу аналізу ринку криптовалют, розробку вимог до моделі, оцінку адекватності о триманої моделі, побудову прогнозу та аналіз точності прогнозування.

Результатом роботи виступає розроблена модель для прогнозування курсу Bitcoin.

Результати проведеної роботи було апробовано на конференції, в результаті чого було опубліковано тези доповіді та стаття:

– Орехова Я.В. МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ КУРСУ ВІТСОІН НА ОСНОВІ ЧАСОВИХ РЯДІВ / Я.В. Орехова // Матеріали II туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт у 2019/2020 н.р. зі спеціалізації «Економічна кібернетика». – 2020. – С. 66-69.

– Орехова Я.В. ВИЗНАЧЕННЯ НАЯВНОСТІ ДОВГОТРИВАЛОЇ ПАМ'ЯТІ У КРИПТОВАЛЮТ / Я.В. Орехова // ФОРМУВАННЯ СУЧАСНОЇ НАУКОВОЇ ДУМКИ. – 2020. – С. 19-21.

Також роботу було впроваджено у навчальну діяльність Навчально-наукового інституту бізнес-технологій «УАБС» Сумського державного університету, що підкріплено актом впровадження.

Ключові слова: криптовалюта, Bitcoin, фрактал, R/S-аналіз, тест Фостера-Стюарта, тест Дікі-Фулера, ARIMA-модель, прогнозування курсу криптовалют.

Основний зміст кваліфікаційної магістерської роботи викладено на 42 сторінках, зокрема список використаних джерел із 60 найменувань, розміщений на 7 сторінках. Робота містить 3 таблиці, 36 рисунків, а також 3 додатки, розміщені на 12 сторінках.

Рік виконання кваліфікаційної роботи – 2020 рік

Рік захисту роботи – 2020 рік

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Навчально-науковий інститут бізнес-технологій «УАБС»
Кафедра економічної кібернетики

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
д.е.н., професор
_____ О.В. Кузьменко
“ ___ ” _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ
(спеціальність 051 «Економіка («Економічна кібернетика»))
студенту 2 курсу, групи ЕК.м-91а

Ореховій Ярославі Василівні

(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема роботи Прогнозування динаміки курсу Bitcoin на основі фрактального аналізу

затверджена наказом по університету від « ___ » _____ 2020 року № _____

2. Термін подання студентом закінченої роботи «23» грудня 2020 року

3. Мета кваліфікаційної роботи прогнозування динаміки курсу криптовалюти Bitcoin

4. Об'єкт дослідження курс криптовалюти Bitcoin

5. Предмет дослідження математичні методи та моделі прогнозування динаміки курсу криптовалют

6. Кваліфікаційна робота виконується на матеріалах часових рядів курсу криптовалюти Bitcoin

7. Орієнтовний план кваліфікаційної роботи, терміни подання розділів керівникові та зміст завдань для виконання поставленої мети

Розділ 1 Теоретичні засади моделювання та прогнозування динаміки курсу криптовалюти Bitcoin

16.11.2020

(назва – термін подання)

У розділі 1 охарактеризувати сучасний стан ринку криптовалюти Bitcoin, розглянути підходи до моделювання та прогнозування динаміки курсу Bitcoin, поставити задачу прогнозування динаміки курсу Bitcoin

(зміст конкретних завдань до розділу, які повинен виконати студент)

Розділ 2 Побудова математичної моделі прогнозування динаміки курсу криптовалюти Bitcoin на основі фрактального аналізу

04.12.2020

(назва – термін подання)

У розділі 2 сформулювати вимоги до моделі, описати вхідні, вихідні та проміжні змінні, описати структуру моделі, розглянути особливості застосування фрактального аналізу для прогнозування динаміки курсу криптовалют

(міст конкретних завдань до розділу, які має виконати студент)

Розділ 3 Реалізація ARIMA моделі для прогнозування динаміки курсу криптовалюти Bitcoin

11.12.2020

(назва – термін подання)

У розділі 3 перевірити адекватність побудованої математичної моделі, реалізувати побудовану модель на ПК, визначити очікувані ефекти від впровадження запропонованої моделі прогнозування динаміки курсу криптовалюти Bitcoin

(зміст конкретних завдань до розділу, які повинен виконати студент)

8. Консультації з роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1			
2			
3			

9. Дата видачі завдання: «_____» _____ 2020 року

Керівник кваліфікаційної роботи _____

(підпис)

К.Г. Гриценко

(ініціали, прізвище)

Завдання до виконання одержав _____

(підпис)

Я.В. Орехова

(ініціали, прізвище)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ДИНАМІКИ КУРСУ КРИПТОВАЛЮТИ BITCOIN.....	5
1.1 Сучасний стан ринку криптовалюти Bitcoin	5
1.2 Підходи до моделювання та прогнозування динаміки курсу Bitcoin	7
1.3 Постановка задач дослідження	10
РОЗДІЛ 2. ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ ДИНАМІКИ КУРСУ КРИПТОВАЛЮТИ BITCOIN НА ОСНОВІ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛІЗУ	11
2.1 Опис вхідних даних	11
2.2 Особливості застосування фрактального аналізу для прогнозування динаміки курсу криптовалют.....	11
2.3 Фрактальний аналіз даних на основі показника Херста	15
РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ ARIMA-МОДЕЛІ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ДИНАМІКИ КУРСУ КРИПТОВАЛЮТИ BITCOIN.....	19
3.1 Реалізація ARIMA-моделі	19
3.2 Прогнозування курсу криптовалюти Bitcoin та верифікація моделі	34
ВИСНОВКИ.....	42
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	43
ДОДАТКИ.....	50

ВСТУП

На сьогоднішній день традиційний фінансовий ринок зазнав значних трансформацій. Одним з найбільш переломних моментів в його історії стала поява криптовалют. Як відомо, криптовалюти – це особливий вид цифрових грошей з власною децентралізованою платіжною системою, які в більшості випадків функціонують на основі технології блокчейну (blockchain) [1]. Якщо на момент появи перших криптовалют у 2008 р. вони не сприймалися фінансовою спільнотою серйозно, то зараз уже велика кількість організацій використовують їх як розрахункові одиниці та приймають як оплату за свої товари та послуги [2]. Сам ринок криптовалют, як і фінансовий ринок в цілому, є зразком складної збалансованої системи. З одного боку він хаотичний, тому що його зміни визначаються під впливом багатьох учасників, а з іншого боку в ньому визначені і працюють стійкі процеси, сформовані діями учасників. Тому важливим є визначення та представлення особливих властивостей фінансових часових рядів, що буде відрізняти їх від інших природних процесів і надасть можливість прогнозувати їх поведінку.

Незважаючи на те, що ціни на криптовалюту, найімовірніше, мають непередбачуваний характер, сам ризик підпорядковується певній схемі, яку можна виразити математично і згодом змоделювати на комп'ютері. Протягом більш ніж сторіччя фінансисти і економісти займаються цим завданням, вони аналізують ризики на ринках капіталу, пояснюють їх, оцінюють кількісно. Якщо раніше криптовалюта була локальним способом оплати і використовувалася обмеженим колом людей, то в даний час вона присутня в Інтернеті як офіційний засіб грошового обігу. Серед криптовалют найбільш популярною є Bitcoin, та, не дивлячись на це, даний ринок активно розвивається, постійно з'являються нові види криптовалют, що в найближчому майбутньому беззаперечно матиме суттєвий вплив на світову економіку. Все більше банки та приватні компанії проявляють зацікавленість у їх використанні, а кількість транзакцій постійно зростає. Тому

аналіз їх поведінки на фінансовому ринку та можливість прогнозу є досить актуальним.

Актуальність теми дослідження дозволила визначити його об'єкт та предмет. Так, об'єктом дослідження є курс криптовалюти Bitcoin, а предметом виступають математичні методи моделювання, аналізу та прогнозування курсу Bitcoin.

Визначені об'єкт та предмет сприяли формулюванню мети дослідження. Метою даної наукової роботи є прогнозування динаміки курсу криптовалюти Bitcoin на основі фрактального аналізу. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- дослідити предметну область;
- провести дослідження існуючих методів та моделей прийняття рішень для вирішення завдання прогнозування тимчасових рядів із змінною фрактальною структурою;
- охарактеризувати особливості здійснення фрактального аналізу та описати етапи здійснення R/S-аналізу;
- реалізувати R/S-аналіз за допомогою програмних засобів;
- побудувати ARIMA-модель для курсу криптовалюти Bitcoin залежно від отриманих результатів R/S-аналізу;
- перевірити отриману модель на адекватність;
- зробити прогноз курсу Bitcoin та здійснити верифікацію моделі.

При дослідженні теми в роботі було використано такі загальнонаукові методи: аналіз і синтез, дедукція, абстрагування, конкретизація, аргументація, порівняння, класифікація, узагальнення, аналіз часових рядів, R/S-аналіз.

Інформаційно-фактологічну базу склали: статистика цін на біткоїн по відношенню до курсу долару за 5 років: з 1 жовтня 2015 року по 24 вересня 2020 року; документація по аналітичному пакету Statistica та MS Excel.

РОЗДІЛ 1.

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ДИНАМІКИ КУРСУ КРИПТОВАЛЮТИ BITCOIN

1.1 Сучасний стан ринку криптовалюти Bitcoin

Вивчення та аналіз ринку криптовалют є відносно новою сферою. За останні роки було опубліковано доволі багато робіт на цю тему, що говорить про популярність криптовалют та зростання потенційного інтересу до її подальшого розвитку як інвесторів, так і вчених.

Не дивлячись на те, що даний ринок відносно новий, він активно розвивається. Його капіталізація перевищує 300 млрд. доларів. Нові криптовалюти з'являються щодня. Наприклад, лише за останній місяць з'явилося більше 70 нових криптовалют. На сьогоднішній день існує більше 2 тис. віртуальних валют, проте живих, тобто таких, якими хоч хтось торгує – всього 14, найпопулярнішими серед яких є Bitcoin та Ethereum, які існують і як гроші, і як платіжні системи [3]. Решта криптоодиниць в тій чи іншій мірі є відгалуженнями, проте деякі з них за останній рік не тільки наздогнали лідерів за рівнем капіталізації, але й обігнали їх. Тим не менше, інфраструктура Bitcoin є найбільш розвиненою.

Bitcoin (BitCoin, або BTC) – перша децентралізована цифрова валюта, створена в 2009 році. Вона дозволяє користувачам здійснювати транзакції через Інтернет від користувача до користувача (P2P), які записуються в децентралізованому державному реєстрі. Кількість одиниць обмежена 21 мільйоном, з яких 16 мільйонів знаходяться в обігу. Частка Bitcoin серед всіх цифрових активів знаходиться на позначці в 60,5% (рис. 1.1), що відповідає 163 млрд. доларів [4]. Капіталізація Bitcoin за останні 5 років наведена на рис. 1.2 [5].

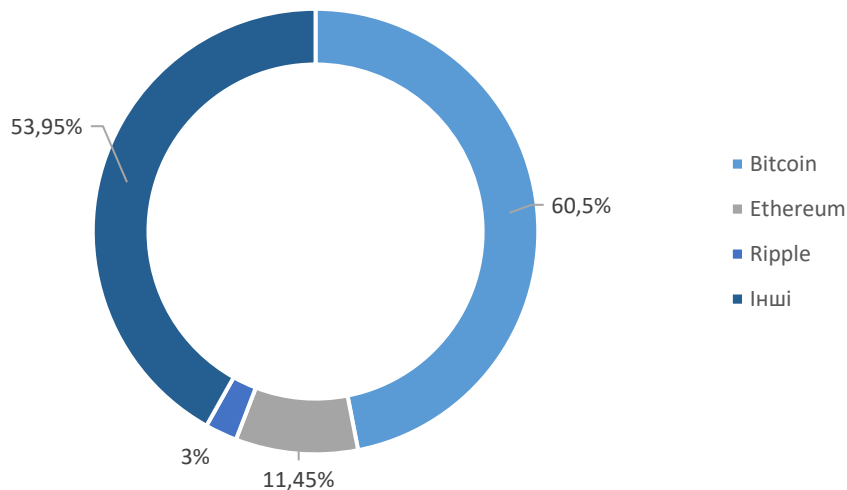


Рисунок 1.1 – Частка Bitcoin на ринку криптовалют станом на жовтень 2020 року



Рисунок 1.2 – Капіталізація криптовалюти Bitcoin, 2015-2020 рр.

Відносно новою та другою за популярністю у світі криптовалютою є Ethereum, випущена у 2015 році. Її капіталізація складає понад 18 млрд. доларів. Ethereum був розроблений на відмінній від Bitcoin технології блокчейн. Якщо Bitcoin був розроблений як валюта, яку можна використовувати як звичайні гроші, то Ethereum виступає як платформа і мова програмування, яку можна використовувати для створення і запуску додатків. Таким чином, у Ethereum інші цілі [6].

Наразі лідируючою криптовалютою на ринку є Idea Chain Coin, створена у 2019 році. Її капіталізація склала 80 млн. доларів. Дана криптовалюта не підлягає майнінгу, тобто всі її монети були випущені відразу або випускаються виключно розробниками (засновниками). Кількість випущених монет на даний момент становить 51 252 304 [7].

Для подальшого аналізу була обрана криптовалюта Bitcoin. Дана криптовалюта є найбільш репрезентативним прикладом в силу наступних причин. По-перше, Bitcoin є першою криптовалютою, відповідно її час існування на ринку набагато більший по відношенню до існуючих наразі криптовалют. По-друге, дана криптовалюта має найбільшу капіталізацію серед інших валют, її частка на ринку становить понад 60 %. Ще одним аргументом є найбільший середній щоденний обсяг торгів даною валютою.

1.2 Підходи до моделювання та прогнозування динаміки курсу Bitcoin

Враховуючи наведену вище інформацію наразі актуальною є задача пошуку та розробки спеціального інструментарію, який дозволить передбачувати та прогнозувати значення обмінних курсів сучасних криптовалют. Тема досліджень криптовалют в економічному контексті на даний момент є мало розробленою. Переважно розглядаються такі питання як аналіз та перспективи розвитку даного ринку або використання методів біржового аналізу.

Протягом досить тривалого часу західна економічна наука керувалася різними поглядами щодо аналізу фінансових ринків. В результаті цього виникли два основні напрямки, повністю протилежні один одному: фундаментальний та технічний аналіз. Фундаментальний аналіз зазвичай ґрунтується на традиційних теоріях, тобто таких, що описують фінансовий ринок як досконалий [8]. Основними їх постулатами є:

- динаміка фінансових ринків підкоряється закону нормального розподілу;
- передбачуваність, стабільність стану ринку, низька імовірність різких «стрибків» або «падінь»;

- ціна характеризує баланс попиту і пропозиції і є рівноважною для всіх учасників ринку;
- раціональність поведінки агентів;
- безперервність, плавність зміни цін [9].

Проте, на жаль, у багатьох випадках дані постулати виявляються безсилями у поясненні окремих процесів, які відбуваються на ринку, особливо при побудові прогнозів майбутніх періодів.

Технічний аналіз з самого початку не надавав чітких теоретичних обґрунтувань. Проте нові відкриття в точних науках на зламі третього тисячоліття, дозволили подивитися на ринок з іншого боку. Завдяки виявленню стійких процесів стало можливим пояснити окремі методи технічного аналізу для аналізу та прогнозування фінансових ринків [8]. В результаті чого виникла гіпотеза фрактальності ринку, або, як її ще називають, теорія хаосу. Теорію хаосу почали використовувати ще в XIX ст., проте наукове обґрунтування дана гіпотеза отримала в другій половині XX ст. в роботах Е. Лоренца та Б. Мандельброта. Саме Б. Мандельброт в середині 60-х років розробив фрактальну геометрію, або геометрію природи, основні положення якої виклав у праці «Фрактальна геометрія природи» (The Fractal Geometry of Nature) [10]. Він показав, що за допомогою фрактальної теорії можна створювати дуже правдоподібні цінові діаграми котирувань акцій або фондових індексів, а за допомогою фрактальної розмірності оцінювати ризики вкладення в ті чи інші акції. У книзі Петерса в додаток до опису гіпотези фрактального ринку проводяться розрахунки, які підтверджують, що сучасний ринок має фрактальну природу. Також він розглядає методи фрактального аналізу ринків акцій, облігацій і валют [11]. Дана теорія тісно пов'язана з поняттям «фрактал». Точного визначення даного поняття в літературі зазвичай не дається. Простими словами, фрактал – це геометрична фігура, яка може бути поділена на частини, де кожна частина – це менша копія початкової фігури. Найбільш популярними є сніжинка Коха, трикутник Серпинського тощо (рис. 1.3)

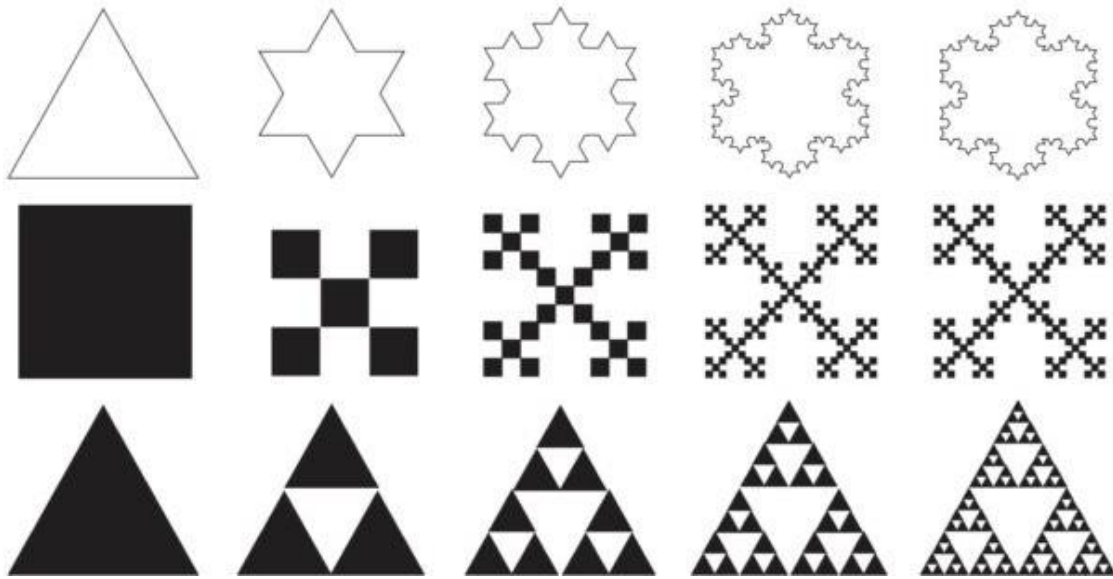


Рисунок 1.3 – Приклади фракталів

Розгляд фінансових ринків як просторових та часових фракталів розширив можливості, а також інструментарій технічного аналізу ринків. Багато фінансистів та трейдерів почали використовувати теорію хаосу та фрактальну геометрію в своїй роботі [12]. Найважливішим класом природних фракталів є хаотичні тимчасові ряди, або впорядковані в часі спостереження характеристик різних природних, соціальних і технологічних процесів. Серед них є як традиційні (геофізичні, економічні, медичні), так і ті, які стали відомими відносно недавно. Ці ряди, звичайно, породжуються складними нелінійними системами, які мають найрізноманітнішу природу. Однак у всіх характер поведінки повторюється на різних масштабах. Найбільш популярними їх представниками є фінансові часові ряди (в першу чергу ціни акцій і курси валют) [13].

Фрактали на фінансовому ринку характеризуються певними властивостями, а саме:

- нерегулярність появи того чи іншого фрактала в часі (явище є довільним і незалежним від періоду часу);
- самоподібність (кожен фрактал відтворює сам себе на різних таймфреймах графіка);

– розмірність (властивість, що визначає ступінь зламу лінії фракталу, на графіку руху ціни під розмірністю мається на увазі її волатильність) [14].

Таким чином, за допомогою фрактального аналізу можна досліджувати характер динаміки зміни цін і валютних курсів на ринку, а також фінансові кризи, які виникають в результаті втрати ринком стабільності. Стабільність в дослідженні фінансових ринків за фрактальною теорією базується на такому понятті як ліквідність. Таким чином, ринок вважається стабільним, якщо він складається з великої кількості інвесторів, які мають різні інвестиційні горизонти, що в свою чергу і гарантує ліквідність. Коли інвестори змінюють свої інвестиційні горизонти – баланс між короткостроковою та довгостроковою перспективами порушується, тобто спотворюється фрактальна структура ринку, він стає менш ліквідним, в результаті чого і виникає криза [15].

1.3 Постановка задач дослідження

Для побудови математичної моделі прогнозування динаміки курсу Bitcoin було поставлено наступні задачі:

- реалізувати R/S-аналіз за допомогою програмного засобу MS Excel;
- перевірити вхідний ряд на стаціонарність;
- реалізувати ARIMA-модель для прогнозування динаміки курсу Bitcoin;
- зробити прогноз курсу Bitcoin та здійснити верифікацію моделі;
- проаналізувати отримані результати.

РОЗДІЛ 2.

ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ ДИНАМІКИ КУРСУ КРИПТОВАЛЮТИ BITCOIN НА ОСНОВІ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛІЗУ

2.1 Опис вхідних даних

Для аналізу та побудови математичної моделі було вирішено використати статистику цін на Bitcoin по відношенню до курсу долару. Дані про значення часового ряду були взяті з ресурсу для здійснення торгівлі Investing.com [16]. Діапазон даних складає 5 років: з 1 жовтня 2015 року по 24 вересня 2020 року. Таким чином було отримано вибірку з 1821 елементу.

2.2 Особливості застосування фрактального аналізу для прогнозування динаміки курсу криптовалют

На практиці при дослідженні фрактальних властивостей динамічних ринкових показників фрактальну розмірність ряду зазвичай не обчислюють, замість неї проводять так званий R/S-аналіз (Rescaled range analysis), тобто обчислюють показник Херста, пов'язаний з фрактальною розмірністю співвідношенням $D = 2 - H$, де D – фрактальна розмірність, а H – показник Херста динамічної системи [17].

Одна з основних переваг R/S-аналізу полягає в тому, що на відміну від багатьох широко поширених статистичних критеріїв, він не заснований на яких би то ні було припущеннях про організацію вихідних даних (про те, яким законам розподілу вони підкоряються). Це найважливіший фактор, коли ми досліджуємо такі явища, як, наприклад, курс акцій або валют, для яких явна хибність Гаусівих підходів підтверджена численними дослідженнями. Недоліком цього методу є те, що для отримання достовірної оцінки показника Херста необхідна досить велика кількість даних, інакше отримані оцінки можуть бути некоректними [18].

Проводячи R/S-аналіз, можна отримати дві корисні властивості часового ряду: міру випадковості динамічного ряду і середню довжину циклу. Середня довжина циклу – це час, який необхідно системі для того, щоб позбутися від впливу початкових умов. Цей показник дозволяє оцінити інерцію руху ряду. Також показник Херста дозволяє проводити класифікацію часових рядів за ступенем їх випадковості:

- якщо $H = 0,5$, то підтверджується гіпотеза ефективного ринку, події є некорельованими, і вони вже використані і знецінені ринком;
- якщо показник Херста має значення від $0 < H < 1$, але не дорівнює $0,5$, то ряд є фракталом і його поведінка значно відрізняється від випадкових блукань;
- якщо $H > 0,5$, то події, що відбуваються сьогодні, будуть враховуватися в динаміці ринку завтра, тобто ринок продовжує враховувати отриману інформацію і через якийсь час після настання події. В такому випадку ринок не можна порівнювати просто з автокореляцією, так як в разі автокореляції вплив інформації швидко падає [11].

За показником Херста також можна робити висновки про ступінь ризикованості вкладення в той чи інший актив:

- при H , близькому до 1, ціни на розглянутий актив поведуться більш передбачувано, тому рівень ризиків, пов'язаних з цим активом, є меншим;
- при H , близькому до 0, поведінка цін більш непередбачувана і хаотична, тому рівень ризиків, пов'язаних з купівлею активу, є вищим;
- при $H = 0,5$ рух цін є випадковим (броунівський рух) [11].

Проведення R/S-аналізу починається з розбиття вхідного фінансового ряду на блоки однакової довжини, для кожного з яких обчислюється розмах R і середньоквадратичне відхилення S . Потім для всіх блоків знаходиться середнє відношення R/S , розмір блоку збільшується і алгоритм повторюється до тих пір, поки розмір блоку не зрівняється з розміром вихідного фінансового ряду. Як результат, для кожного розміру блоку буде отримано середнє значення R/S , і завдяки виконанню регресії методом найменших квадратів, буде знайдено показник H [19].

Опишемо докладніше кожен крок алгоритму R/S-аналізу [20]:

1. Аналіз починається з тимчасового ряду довжини M . Далі здійснюється його перетворення в тимчасовий ряд довжини $N = M - 1$ із застосуванням логарифмічних відносин (формула 2.1):

$$N_t = \ln \frac{M_t}{M_{t-1}} \quad (2.1)$$

2. Ділимо цей період часу на A суміжних підперіодів довжини n , так, що $A_n = N$. Позначаємо кожен підперіод за I_a , з урахуванням того, що $a = 1, 2, 3, \dots, A$. Кожен елемент в I_a позначений N_k , при цьому $k = 1, 2, 3, \dots, N$. Для кожного I_a довжини n визначимо середнє значення (формула 2.2):

$$E(I_a) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n N_{k,a} \quad (2.2)$$

3. Часовий ряд накопичених відхилень $X_{k,a}$ від середнього значення для кожного підперіоду I_a визначається за формулою 2.3:

$$X_{k,a} = \sum_{i=1}^k (N_{i,a} - E(I_a)) \quad (2.3)$$

4. Далі визначається розмах, як максимальне значення за вирахуванням мінімального значення $X_{k,a}$, в межах кожного підперіоду I_a (формула 2.4):

$$R_{I_a} = \max (X_{k,a}) - \min (X_{k,a}) \quad (2.4)$$

5. На наступному кроці розраховується вибіркове стандартне відхилення для кожного підперіоду I_a (формула 2.5):

$$S_{I_a} = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{k=1}^n (N_{k,a} - E(I_a))^2} \quad (2.5)$$

6. Кожен діапазон R_{I_a} нормалізується шляхом ділення на відповідний S_{I_a} . Тому повторно нормований розмах протягом кожного I_a підперіоду дорівнює R_{I_a}/S_{I_a} . За крок вище ми отримали суміжні підперіоди довжини n . Отже, середнє значення R/S для довжини n визначається за формулою 2.6:

$$R/S_n = \frac{\sum_{a=1}^A R/S(A)}{A} \quad (2.6)$$

7. Довжина n збільшується до наступного більш високого значення, а $(M - 1) / n$ є цілочисельним значенням. Використовуємо значення n , що включають початкові та кінцеві точки часового ряду, і кроки 1-6 повторюються до $n = (M - 1) / 2$.

8. На останньому кроці можна застосувати рівняння $\log(R/S) = \log(c) + H \log(n)$, будуючи просту регресію методом найменших квадратів, враховуючи, що $\log(n)$ – це незалежна змінна, а $\log(R/S)$ – залежна змінна. Метод найменших квадратів є одним з методів регресійного аналізу для оцінки невідомих величин за результатами вимірів, що містить випадкові помилки і полягає в мінімізації суми квадратів відхилень. Відрізок, що відсікається на координатній осі, є оцінкою $\log(c)$, тобто константою. Нахил рівняння є оцінкою показника Херста – H . Для перевірки значимості рівняння можна використати статистику Фішера. Також необхідно перевірити значимість параметра H за допомогою статистики Стьюдента.

2.3 Фрактальний аналіз даних на основі показника Херста

В якості програмного забезпечення для проведення R/S-аналізу було обрано MS Excel. Перш за все необхідно прологарифмувати нашу вибірку (рис. 2.1), в подальшому всі операції з моделювання будуть відбуватися саме в відношенні перетвореного ряду.

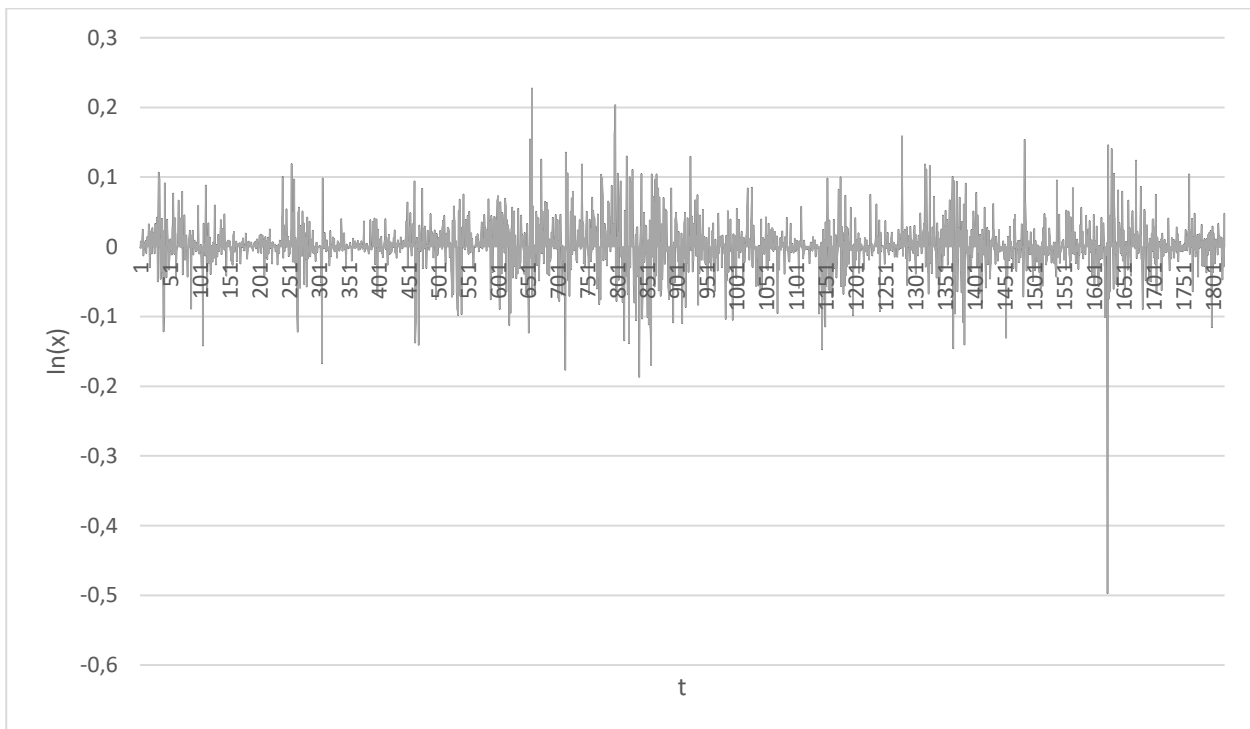


Рисунок 2.1– Графік логарифмованої змінної Bitcoin

В результаті було отримано ряд довжиною 1820 значень, дільниками якого є числа: 10, 13, 14, 20, 26, 28, 35, 52, 65, 70, 91, 130, 140, 182, 260, 364, 455, 910. Використовуючи формули 2.1 – 2.6, проведемо R/S-аналіз і проілюструємо його на прикладі дільника 260. Отримаємо 7 підперіодів довжиною 260. Відобразимо на екрані розрахунки для перших 3 підперіодів (рис. 2.2).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	t	Mt	Nt	E(la)	Ni,a - E(la)	(Ni,a - E(la))^2	Xk,a	Ri,a	Si,a	RS(A)				
2	1	237,10	-	-	-	-	-	-	-	-	la	910	R/Sa	41,22022
3	2	236,70	-0,00169	0,003861	-0,00555	3,07912E-05	-0,00555	1,993899	0,041722828	47,78916336	2	911	0,0038605	47,78916
4	3	238,60	0,007995	0,003861	0,004134	1,7094E-05	-0,00141	1,993899	0,041722828	47,78916336	912	1821	0,0002772	34,65128
5	4	238,30	-0,00126	0,003861	-0,00512	2,62004E-05	-0,00653	1,993899	0,041722828	47,78916336	a1	a2	E(la)	R/S(A)
6	5	240,10	0,007525	0,003861	0,003665	1,34294E-05	-0,00287	1,993899	0,041722828	47,78916336				
7	6	246,10	0,024682	0,003861	0,020822	0,000433553	0,017953	1,993899	0,041722828	47,78916336				
8	7	243,00	-0,01268	0,003861	-0,01654	0,000273473	0,001416	1,993899	0,041722828	47,78916336				
9	8	242,60	-0,00165	0,003861	-0,00551	3,03376E-05	-0,00409	1,993899	0,041722828	47,78916336				
10	9	244,00	0,005754	0,003861	0,001894	3,58618E-06	-0,0022	1,993899	0,041722828	47,78916336				
11	10	245,40	0,005721	0,003861	0,001861	3,46258E-06	-0,00034	1,993899	0,041722828	47,78916336				
12	11	247,60	0,008925	0,003861	0,005065	2,56492E-05	0,004727	1,993899	0,041722828	47,78916336				
13	12	245,40	-0,00893	0,003861	-0,01279	0,000163469	-0,00806	1,993899	0,041722828	47,78916336				
14	13	248,80	0,01376	0,003861	0,009899	9,79966E-05	0,001841	1,993899	0,041722828	47,78916336				
15	14	252,30	0,013969	0,003861	0,010109	0,000102192	0,01195	1,993899	0,041722828	47,78916336				
16	15	254,40	0,008289	0,003861	0,004428	1,96113E-05	0,016379	1,993899	0,041722828	47,78916336				
17	16	262,90	0,032866	0,003861	0,029005	0,000841313	0,045384	1,993899	0,041722828	47,78916336				
18	17	269,60	0,025166	0,003861	0,021305	0,000453909	0,066689	1,993899	0,041722828	47,78916336				
19	18	261,70	-0,02974	0,003861	-0,0336	0,001129032	0,033088	1,993899	0,041722828	47,78916336				
20	19	263,80	0,007992	0,003861	0,004132	1,70728E-05	0,03722	1,993899	0,041722828	47,78916336				
21	20	269,80	0,02249	0,003861	0,018629	0,000347047	0,055849	1,993899	0,041722828	47,78916336				
22	21	267,10	-0,01006	0,003861	-0,01392	0,00019372	0,041931	1,993899	0,041722828	47,78916336				
23	22	274,40	0,026964	0,003861	0,023103	0,000533761	0,065034	1,993899	0,041722828	47,78916336				
24	23	276,90	0,00907	0,003861	0,005209	2,7134E-05	0,070243	1,993899	0,041722828	47,78916336				
25	24	282,60	0,020376	0,003861	0,016516	0,000272763	0,086759	1,993899	0,041722828	47,78916336				
26	25	287,90	0,018581	0,003861	0,01472	0,000216685	0,101479	1,993899	0,041722828	47,78916336				
27	26	285,10	-0,00977	0,003861	-0,01363	0,000185878	0,087845	1,993899	0,041722828	47,78916336				

Рисунок 2.2 – Фрагменти розрахунків показника R/S для $I_a = 910$

На рисунку 2.1 зеленим кольором виділено показник R/S, жовтим – ітерації. В процесі аналізу було проведено 18 ітерацій. Розрахунки для інших ітерацій представлені в додатку Б на рисунках Б.1 – Б.18. Функції, які використовувались для розрахунків в MS Excel, представлені у додатку В на рисунках В.1 – В.3.

В результаті було отримано 18 значень R/S, необхідних для подальшої побудови рівняння регресії. Розраховані показники, отримані в процесі ітерацій, наведені в таблиці 2.1, в якій також представлені розраховані $\ln(R/S)$ та $\ln(n)$. Отримані розрахунки дозволили нам побудувати графік та отримати рівняння лінійної регресії (рис. 2.3).

Таблиця 2.1 – Проміжні розрахунки

n	R/S	$\ln(R/S)$	$\ln(n)$
10	3,337855938	1,205328666	2,302585093
13	3,781138492	1,330025153	2,564949357
14	4,092195771	1,409081689	2,63905733
20	4,763985758	1,561084662	2,995732274
26	5,397509845	1,685937707	3,258096538

Продовження таблиці 2.1

28	5,724358892	1,744730559	3,33220451
35	6,544338538	1,878600331	3,555348061
52	8,097468073	2,091551429	3,951243719
65	9,440412722	2,2449997	4,17438727
70	9,713146215	2,273480248	4,248495242
91	10,91479666	2,390119361	4,510859507
130	14,35393145	2,664023873	4,86753445
140	14,01858319	2,64038382	4,941642423
182	16,3701231	2,795457911	5,204006687
260	20,63463693	3,026971068	5,560681631
364	24,03559447	3,179535835	5,897153868
455	30,24788509	3,409426268	6,120297419
910	41,22022054	3,718928926	6,8134446

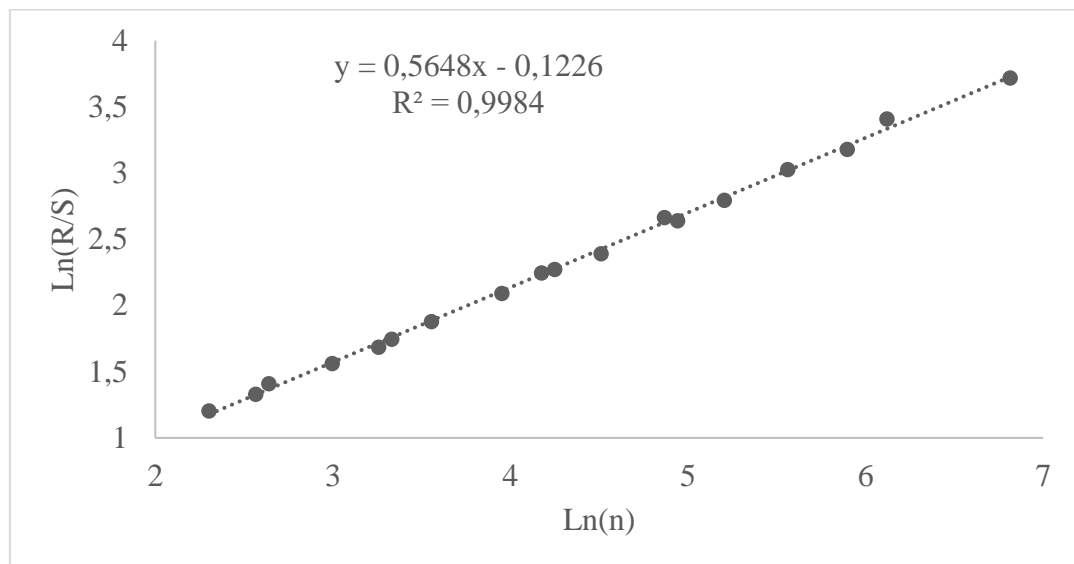


Рисунок 2.3 – Графік рівняння регресії

Як бачимо з рівняння на рисунку 2.3, значення $R^2 = 0,9984$. Це говорить про те, що рівняння регресії дуже добре описує вхідні дані. Значення показника $H = 0,5648 > 0,5$, а отже ряд є персистентним і має довготривалу пам'ять, тобто отримана в минулому інформація впливає на його поведінку в майбутньому.

Далі перевіряємо отриманий результат на значимість. Для цього розрахуємо критерій Стюдента та Фішера за допомогою «Аналізу даних» (рис. 2.4).

Вывод итогов						
<i>Регрессионная статистика</i>						
Множественный	0,999221774					
R-квадрат	0,998444153					
Нормированный	0,998346913					
Стандартная ош	0,030291287					
Наблюдения	18					
<i>Дисперсионный анализ</i>						
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимость F</i>	
Регрессия	1	9,421335495	9,421335495	10267,79072	6,74735E-24	
Остаток	16	0,014680993	0,000917562			
Итого	17	9,436016488				
	<i>Коэффициенты</i>	<i>Стандартная ошибка</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-Значение</i>	<i>Нижние 95%</i>	<i>Верхние 95%</i>
Y-пересечение	-0,122595285	0,024872304	-4,928987793	0,000151063	-0,175322214	-0,06986835
Переменная X 1	0,56482545	0,005574113	101,3301077	6,74735E-24	0,553008859	0,57664204

Рисунок 2.4 – Основні статистичні характеристики рівняння регресії

Отриманий критерій Фішера, який дорівнює 10 267,79072 (рис. 2.4), значно перевищує табличне значення при рівні значущості 0,05 та рівнях вільності $k_1 = 1$, $k_2 = 16$, тобто 4,494. Це дозволяє відхилити гіпотезу про відсутність лінійного зв'язку при відповідному рівні значущості $p < 6,74735E-24$, що свідчить про адекватність моделі. Отримані критерії Стюдента для показників регресії, наведені на рисунку 2.4, перевищують табличне значення при рівні значущості 0,05 та рівні вільності $k = 16$, тобто 2,1199. Це говорить про статистичну значущість параметрів регресії. Р-рівень для всіх оцінок є меншим ніж 0,05, що підтверджує їх значущість для моделі.

Оскільки отримане рівняння є точним, його параметри є статистично значущими, а отримане значення показника Херста більше 0,5, то для даних курсу криптовалюти Bitcoin можна побудувати ARIMA-модель з наявною довготривалою пам'яттю.

РОЗДІЛ 3.

РЕАЛІЗАЦІЯ ARIMA-МОДЕЛІ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ДИНАМІКИ КУРСУ КРИПТОВАЛЮТИ BITCOIN

3.1 Реалізація ARIMA-моделі

Одним з практичних застосувань фрактального аналізу є його використання в аналізі та дослідженні взаємозв'язків в часових рядах. В цій області розроблено досить багато моделей, що використовують як зовнішні по відношенню до цінового ряду чинники (наприклад, економічні показники), так і минулі значення часового ряду, або його похідних (наприклад, моделі ARMA, ARIMA, ARCH, GARCH, E-GARCH). Більшість із них базується на моделях авторегресії і ковзного середнього. Модель ARIMA є однією з найбільш популярних моделей для побудови короткострокових прогнозів. Для опису даної моделі використовуються три групи параметрів: p , d і q – цілі невід'ємні числа, що характеризують порядок для частин моделі (відповідно авторегресійної, інтегрованої і ковзної середньої) [21]. В процесі аналізу часових рядів першим кроком є, як правило, оцінка стаціонарності та визначення порядку інтегрованості ряду (параметр d процесу ARIMA (p, d, q)). Даний параметр d встановлюють рівним 0 або 1. Випадок $d = 0$ відповідає короткій пам'яті ряду, тоді як при $d = 1$ можна зробити висновок про нескінченну пам'ять. Говорячи про нескінченну пам'ять, мається на увазі, що кожен шок впливає на поведінку ряду нескінченно довго. Існування короткої пам'яті означає, що наслідки шоку зникають досить швидко. Процеси ARMA (p, q) і ARIMA (p, d, q) є частковими випадками цього процесу при $d = 0$ і $d = 1$ відповідно [22].

Модифікацією даної моделі є дрібно-інтегрована модель авторегресії і ковзного середнього ARFIMA. На відміну від ARIMA, де порядок інтегрованості процесу міг приймати тільки цілі значення, в даній моделі це обмеження відсутнє, а значить ступінь оператора зсуву відповідного диференціального рівняння може

бути будь-яким реальним значенням, включаючи дробові величини [23]. Це дає можливість більш точно описати реальний безперервний процес шляхом його перетворення в дискретний за допомогою розбивання процесу на більш дрібні компоненти, ніж при цілочисельному диференціюванні. Все це, в свою чергу, дає право припускати, що модель ARFIMA володіє потенційними можливостями для опису валютних ринків, а отримані з її допомогою результати є більш достовірними в порівнянні з іншими моделями.

В даній роботі було вирішено побудувати ARIMA модель з параметром $d=1$, так як отримані результати підтвердили наявність довготривалої пам'яті.

Методологія побудови моделі для досліджуваного часового ряду включає наступні основні етапи:

- ідентифікацію пробної моделі;
- оцінювання параметрів моделі та діагностичну перевірку адекватності моделі;
- використання моделі для прогнозування [24].

Побудова коректної моделі часових рядів вимагає їх стаціонарності. Стаціонарний часовий ряд у широкому сенсі – це процес, для якого математичне сподівання та дисперсія існують і є сталими величинами, що не змінюються в часі, а автокореляційна функція залежить лише від різниці між двома моментами часу $t_1 - t_2 = \tau$ і не залежить від конкретного періоду часу. Тобто для реалізації випадкового процесу $y_{t1}, y_{t2}, \dots, y_{tn}$ основні моменти залишаються постійними й обмеженими у разі зміні часу t , для якого вони розраховуються [25]. Лише якщо ми знаємо, що процес стаціонарний, ми матимемо усі підстави для того, щоб тестувати гіпотези і будувати оптимальні прогнози. На цьому етапі рекомендується проводити аналіз автокореляційної функції та часткової автокореляційної функції. У разі, якщо вихідні ряди не є стаціонарними, перед здійсненням оцінювання моделі необхідно застосувати процедуру приведення розглянутих рядів до стаціонарного виду. Зазвичай для цього застосовують оператор взяття послідовних різниць, тим самим визначається значення параметра d .

Для побудови ARIMA-моделі використаємо аналітичний пакет STATISTICA, який використовується для аналізу, управління, добування та візуалізації даних. Істотним недоліком програми є відсутність можливостей перевірки ряду на наявність тренду, і судити про його стаціонарність можна лише на основі візуального аналізу графіка ряду, спектрограми і коррелограм АКФ і ЧАКФ.

На першому кроці побудуємо графік вхідних даних – курсу криптовалюти Bitcoin. У більшості часових рядів члени ряду залежать один від одного, що можна спостерігати на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1 – Графік змінної Bitcoin

На рисунку 3.1 можна побачити нерівномірні коливання, які призводять до збільшення амплітуди. Тому є потреба у проведенні логарифмізації вхідних даних для отримання більш рівномірної амплітуди (рис.3.2).



Рисунок 3.2 – Графік логарифмованої змінної Bitcoin

З графіка на рис. 3.2 ми бачимо, що мета перетворення досягнута, амплітуда коливань стала більш стабільною і ряд готовий для подальшого дослідження.

Для ідентифікації ARIMA-моделі побудуємо автокореляційну функцію та функцію часткової автокореляції (рис.3.3-3.4).

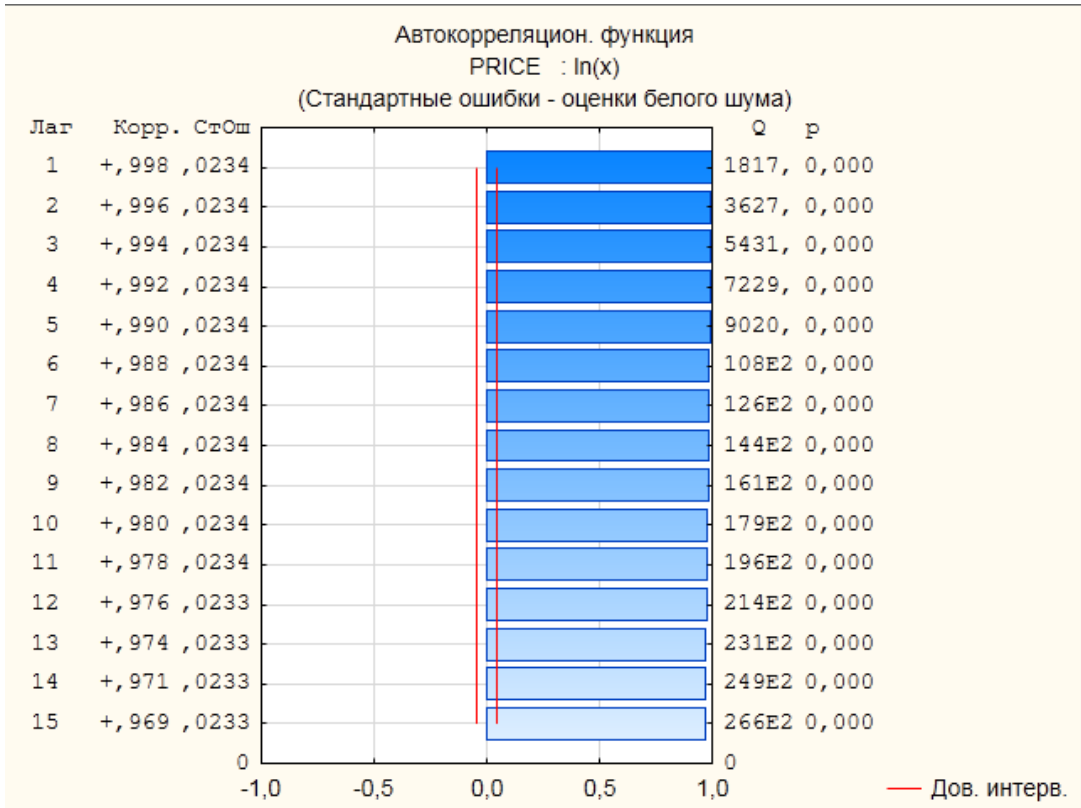


Рисунок 3.3 – Автокорреляційна функція для логарифмованої змінної Bitcoin

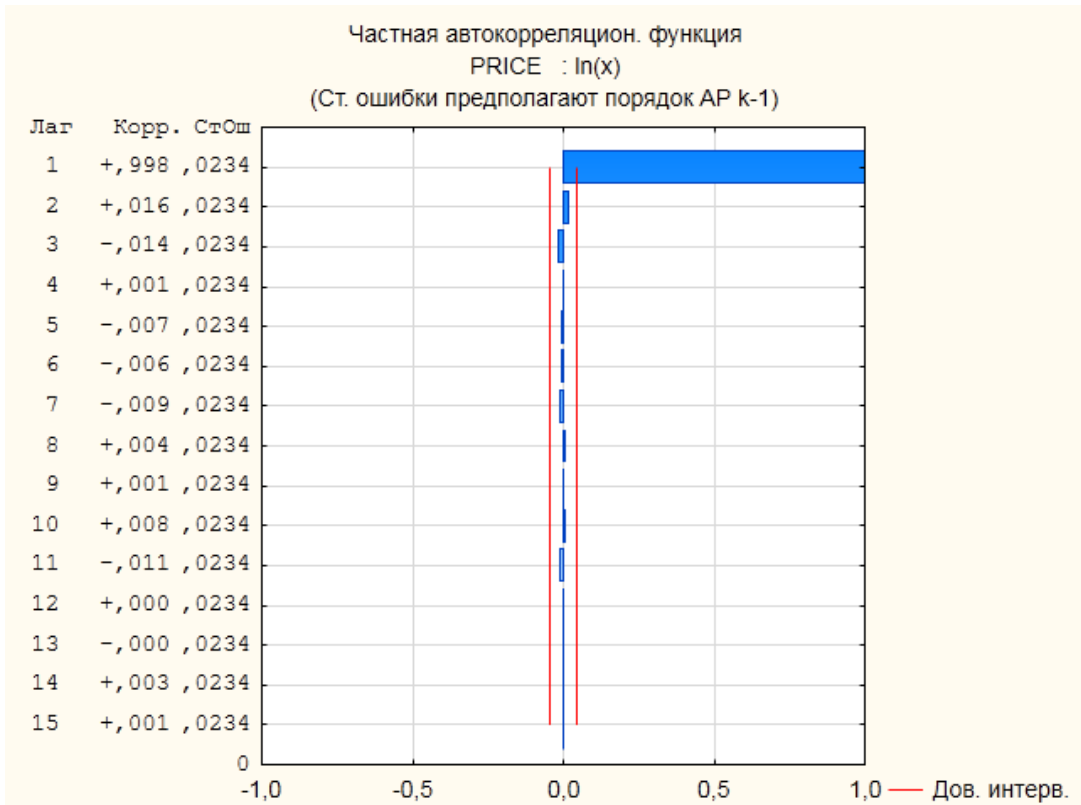


Рисунок 3.4 – Часткова автокорреляційна функція для логарифмованої змінної Bitcoin

Корелограма автокореляційної функції показує сильну кореляційну залежність рівнів ряду (рис. 3.3). Як можна побачити з графіка корелограми часткової автокореляційної функції (рис. 3.4), всі коефіцієнти автокореляції, окрім першого, є статистично незначущими. Отримані корелограми говорять про те, що ряд містить тренд, тобто є нестационарним.

Для перевірки стаціонарності ряду застосовуються різні параметричні, непараметричні та напівпараметричні тести, тому використаємо деякі з них для підтвердження гіпотези нестационарності даного ряду. Одним із таких методів є метод Фостера-Стюарта. Його перевага в тому, що він дозволяє встановити наявність тренду не тільки у часовому ряді, але і виявити його в значенні дисперсії рівнів, що важливо для прогностичного аналізу. При відсутності тренду дисперсії розкид рівнів ряду постійний, при наявності тренду дисперсія збільшується або зменшується [26].

Для аналізу досліджуваного ряду визначаються величини k_t і l_t . Їх значення знаходяться шляхом послідовного порівняння рівнів. Якщо який-небудь рівень ряду перевищує по своїй величині кожен з попередніх рівнів, то величині k_t присвоюється значення 1, в інших випадках вона дорівнює 0. Таким чином, послідовність виконання методу Фостера-Стюарта наступна [26]:

1. Порівняти кожен рівень вихідного ряду y_t , $t = \overline{1, n}$, починаючи з другого, з усіма попередніми рівнями, і побудувати дві числові послідовності:

$$k_t = \begin{cases} 1, \text{ якщо } y_t > \text{ всіх попередніх рівнів} \\ 0, \text{ в іншому випадку} \end{cases}, \quad (3.1)$$

$$l_t = \begin{cases} 1, \text{ якщо } y_t < \text{ всіх попередніх рівнів} \\ 0, \text{ в іншому випадку} \end{cases}, t = \overline{2, n} \quad (3.2)$$

2. Обчислити величини S і d за наступними формулами:

$$S = \sum_{t=2}^n (k_t + l_t), \quad (3.3)$$

$$d = \sum_{t=2}^n (k_t - l_t), \quad (3.4)$$

Величина S характеризує зміну часового ряду, вона може приймати значення від 0 (коли всі рівні ряду рівні) до $n - 1$ (ряд монотонний). Величина d характеризує зміну дисперсії часового ряду і змінюється від $-(n - 1)$ (коли ряд монотонно убиває) до $(n - 1)$ (коли ряд монотонно зростає). Ці величини є випадковими з математичним очікуванням μ для значення S і 0 для значення d [26].

3. Останнім кроком є перевірка гіпотез, а саме:

– чи можна вважати випадковим відхилення S від його математичного очікування μ . Для цього розраховується значення t -критерію t_s (формула 3.5) та порівнюється з табличним значенням $t_{\text{табл}}$ (при рівні значущості 0,05 і ступені свободи $k = n - 2$). У разі, якщо $t_s > t_{\text{табл}}$, то для даного ряду є тренд, тобто гіпотеза про відсутність тренду відкидається;

– чи можна вважати випадковим відхилення d від нуля. Для цього знаходиться показник t_d (формула 3.6) і також порівнюється з табличним значенням. Якщо $t_d < t_{\text{табл}}$, то для даного ряду тренду дисперсії рівнів ряду немає, і гіпотеза про нестационарність ряду приймається [26].

$$t_s = \frac{|S - \mu|}{\sigma_s}, \quad (3.5)$$

$$t_d = \frac{|d|}{\sigma_d}, \quad (3.6)$$

Розрахунки були виконані в програмному пакеті MS Excel. Розрахунки наведені у додатку Г на рисунках Г.1-Г.2. Результати розрахунків наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати аналізу ряду на стаціонарність методом Фостера-Стюарта

S	135
d	133
Стандартне відхилення S	3,404519
Стандартне відхилення d	3,764131
Критерій Стьюдента для S	35,4914467
Критерій Стьюдента для d	35,33352057
Табличний критерій t-Стьюдента	1,961

Як бачимо, значення t_s і t_d значно перевищують табличне значення, що, в свою чергу, підтверджує гіпотезу про наявність тренду.

Перевіримо наш ряд за допомогою ще одного відомого методу, а саме розширеного тесту Дікі-Фулера. З цією метою візьмемо перші різниці нашого ряду та розрахуємо параметри наступних рівнянь: рівняння тестової регресії без константи та тренду (формула 3.7); рівняння регресії з константою, але без тренду (формула 3.8); рівняння регресії з константою та лінійним трендом (формула 3.9).

$$\Delta y_t = b \cdot y_{t-1} + \varepsilon_t, \quad (3.7)$$

$$\Delta y_t = b_0 + b \cdot y_{t-1} + \varepsilon_t, \quad (3.8)$$

$$\Delta y_t = b_0 + b_1 \cdot t + b \cdot y_{t-1} + \varepsilon_t, \quad (3.9)$$

де: $\Delta y_t = y_t - y_{t-1}$;

y_t - часовий ряд фактичних даних;

y_{t-1} - часовий ряд, зрушений на один крок;

b , b_0 , b_1 – параметри регресії;

ε_t – випадкова похибка.

Для кожної з регресій існують свої критичні значення DF-статистики. Для знаходження параметрів для регресій 3.7-3.9 скористаємося можливостями «Аналізу даних» в MS Excel. Так, було отримано наступні значення параметрів для регресії 3.7 (рис. 3.5).

ВЫВОД ИТОГОВ						
<i>Регрессионная статистика</i>						
Множественный R	0,012146411					
R-квадрат	0,000147535					
Нормированный R-квадрат	-0,000402217					
Стандартная ошибка	342,8197532					
Наблюдения	1820					
<i>Дисперсионный анализ</i>						
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимость F</i>	
Регрессия	1	31544,55483	31544,55483	0,2684063	0,60446588	
Остаток	1819	213778672	117525,3832			
Итого	1820	213810216,6				
	<i>Коэффициенты</i>	<i>Стандартная ошибка</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-Значение</i>	<i>Нижние 95%</i>	<i>Верхние 95%</i>
Y-пересечение	0	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д
Переменная X 1	-0,000640292	0,001235896	-0,518079447	0,6044658	-0,003064217	0,00178363

Рисунок 3.5 – Параметри для рівняння регресії без константи та тренду

Отримані значення параметру b порівнюємо з табличним значенням (-2,58). Оскільки значення параметру b (-0,000640292) знаходиться правіше від табличного значення, то нульова гіпотеза про одиничний корінь приймається, тобто процес визнається нестационарним.

Отримаємо наступні значення параметрів для регресії 3.8 (рис. 3.6). Значення параметру b порівнюємо з табличним значенням (-3,43). Оскільки значення параметру b (-0,00322238) знаходиться правіше від табличного значення, то нульова гіпотеза про одиничний корінь приймається, і процес визнається нестационарним.

ВЫВОД ИТОГОВ						
<i>Регрессионная статистика</i>						
Множественный R	0,039157334					
R-квадрат	0,001533297					
Нормированный R-квадрат	0,000984085					
Стандартная ошибка	342,6277407					
Наблюдения	1820					
Дисперсионный анализ						
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимость F</i>	
Регрессия	1	327741,5939	327741,5939	2,7918142	0,094919022	
Остаток	1818	213421871,5	117393,7687			
Итого	1819	213749613,1				
	<i>Коэффициенты</i>	<i>Стандартная ошибка</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-Значение</i>	<i>Нижние 95%</i>	<i>Верхние 95%</i>
Y-пересечение	21,8610919	12,5395411	1,743372563	0,0814376	-2,732330342	46,4545141
Переменная X 1	-0,00322238	0,001928561	-1,670872296	0,094919	-0,007004809	0,00056005

Рисунок 3.6 – Параметры для рівняння регресії з константою та без тренду

Знайдемо параметр b для регресії 3.9 (рис. 3.7).

ВЫВОД ИТОГОВ						
<i>Регрессионная статистика</i>						
Множественный R	0,041228962					
R-квадрат	0,001699827					
Нормированный R-квадрат	0,000600983					
Стандартная ошибка	342,6934298					
Наблюдения	1820					
Дисперсионный анализ						
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимость F</i>	
Регрессия	2	363337,4213	181668,7106	1,5469226	0,213182413	
Остаток	1817	213386275,7	117438,7868			
Итого	1819	213749613,1				
	<i>Коэффициенты</i>	<i>Стандартная ошибка</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-Значение</i>	<i>Нижние 95%</i>	<i>Верхние 95%</i>
Y-пересечение	21,70880096	12,54499529	1,730475019	0,0837152	-2,895327441	46,3129294
Переменная X 1	-0,00317766	0,001930641	-1,645909894	0,0999553	-0,006964169	0,00060885
Переменная X 2	-0,012923558	0,023474067	-0,550546198	0,5820125	-0,058962551	0,03311543

Рисунок 3.7 – Параметры для рівняння регресії з константою та трендом

Отримані значення параметру b порівняємо з табличним значенням (-3,96). Оскільки значення параметру b (-0,012923558) знаходиться правіше від табличного значення, то нульова гіпотеза про одиничний корінь приймається, і процес визнається нестационарним.

Отже, за результатами проведених тестів Фостера-Стюарта та Дікі-Фулера було підтверджено те, що процес є нестационарним.

Для усунення залежності виконаємо диференціювання ряду з лагом 1, в результаті чого кожен елемент перетвореного ряду буде представляти різницю між своїм попереднім і наступним значеннями (рис. 3.8).



Рисунок 3.8 – Графік змінної Bitcoin після взяття перших різниць

Розглянемо відповідні автокореляційні та часткові автокореляційні функції (рис. 3.9-3.10).

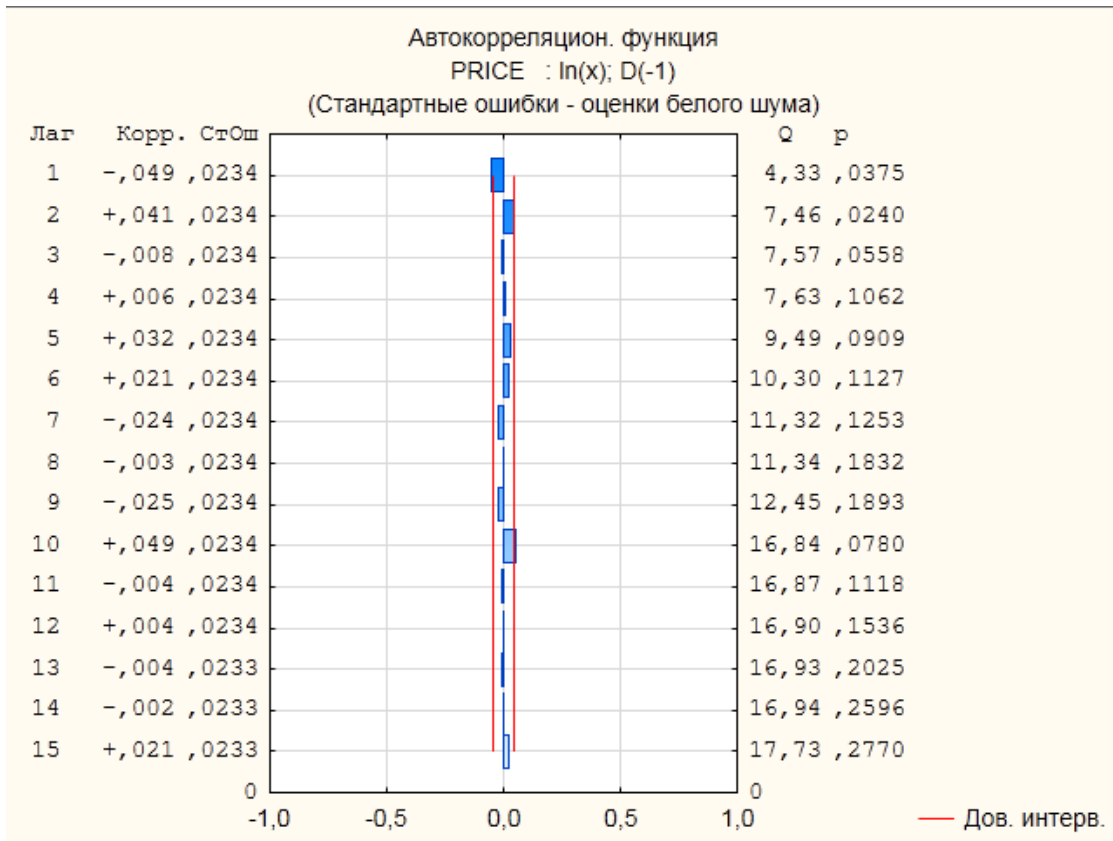


Рисунок 3.9 – Автокорреляційна функція після взяття перших різниць

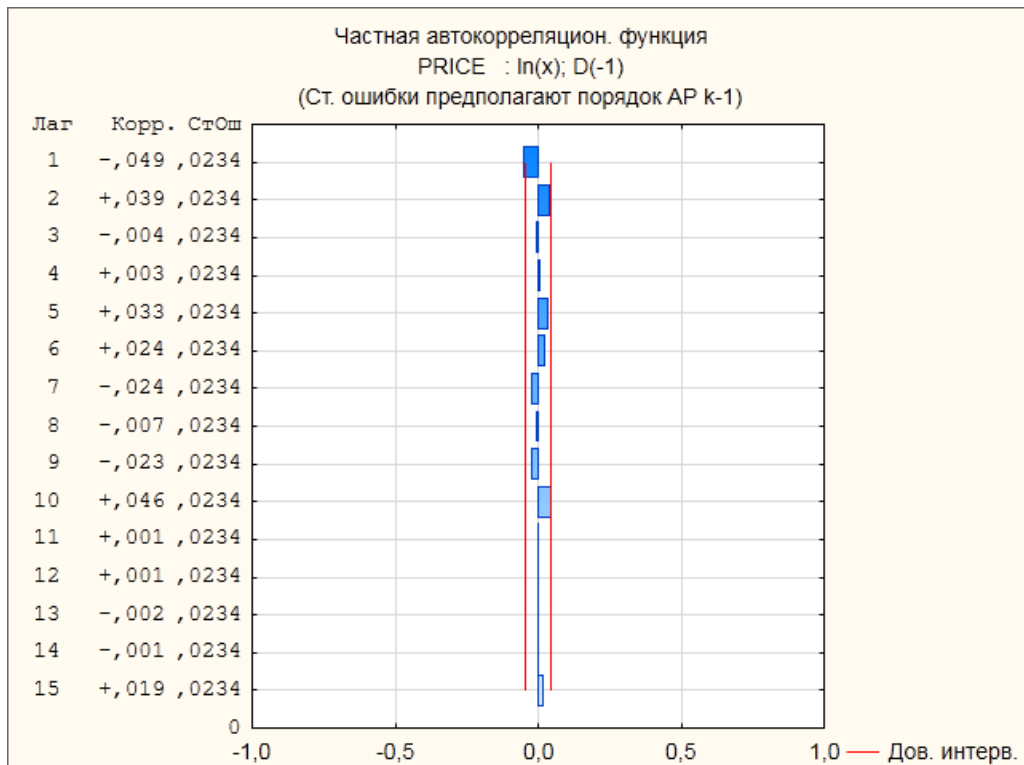


Рисунок 3.10 – Часткова автокорреляційна функція після взяття перших різниць

Коррелограми 3.9-3.10 показують, що трендову складову було усунуто з моделі, оскільки отримані значення автокореляційної функції наближаються до 0 та не є значущими, тобто ряд є стаціонарним.

Грунтуючись на розвідувальному аналізі, можемо прийти до висновку, що несезонна модель (з лагом 1) досить добре підходить для перетвореного ряду. Отже, будуватимемо ARIMA-модель для ряду в перших різницях, для чого проведемо оцінку параметрів змінного середнього моделі ARIMA: d , p та q .

Так як було зроблено висновок про наявність в моделі довготривалої пам'яті, то параметр $d = 1$. Наступним кроком розглянемо різні типи моделей, оцінимо їх статистики та оберемо ту, що найкраще описує вхідний ряд. Після процедури оцінювання ARIMA (1, 1, 0), отримуємо наступні результати (рис. 3.11).

Исход.:PRICE (Bitcoin) Преобразования: ln(x),D(1) Модель(1,1,0) MS Остаток= ,00163						
Параметр	Парам.	Асимпт. Ст.ошиб.	Асимпт. t(1819)	p	Нижняя 95% дов.	Верхняя 95% дов.
p(1)	-0,045964	0,023439	-1,96104	0,050026	-0,091934	0,000005

Рисунок 3.11 – Таблица результатов з оцінками параметрів моделі ARIMA (1, 1, 0)

З рисунку 3.11 можна побачити, що оцінки параметрів є статистично незначущими, оскільки $p > 0,05$.

Проведемо оцінку для моделей ARIMA (1, 1, 1) та ARIMA (0, 1, 1). Результати оцінки наведені на рисунках 3.12-3.13.

Исход.:PRICE (Bitcoin) Преобразования: ln(x),D(1) Модель(1,1,1) MS Остаток= ,00163						
Параметр	Парам.	Асимпт. Ст.ошиб.	Асимпт. t(1818)	p	Нижняя 95% дов.	Верхняя 95% дов.
p(1)	-0,550925	0,286836	-1,92069	0,054927	-1,11349	0,011639
q(1)	-0,502290	0,297144	-1,69039	0,091125	-1,08507	0,080491

Рисунок 3.12 – Таблица результатов з оцінками параметрів моделі ARIMA (1, 1, 1)

Исход.:PRICE (Bitcoin) Преобразования: ln(x),D(1) Модель(0,1,1) MS Остаток= ,00163						
Параметр	Парам.	Асимпт. Ст.ошиб.	Асимпт. t(1819)	ρ	Нижняя 95% дов.	Верхняя 95% дов.
q(1)	0,042342	0,022482	1,883348	0,059813	-0,001752	0,086435

Рисунок 3.13 – Таблица результатов с оценками параметров модели ARIMA (0, 1, 1)

Як бачимо, результати знову незначущі, тому продовжимо підбирати параметри (рис.3.14-3.15).

Исход.:PRICE (Bitcoin) Преобразования: ln(x),D(1) Модель(1,1,2) MS Остаток= ,00163						
Параметр	Парам.	Асимпт. Ст.ошиб.	Асимпт. t(1817)	ρ	Нижняя 95% дов.	Верхняя 95% дов.
p(1)	-0,169457	0,445260	-0,38058	0,703559	-1,04273	0,703818
q(1)	-0,125534	0,444996	-0,28210	0,777897	-0,99829	0,747224
q(2)	-0,036320	0,031497	-1,15312	0,249012	-0,09809	0,025454

Рисунок 3.14 – Таблица результатов с оценками параметров модели ARIMA (1, 1, 2)

Исход.:PRICE (Bitcoin) Преобразования: ln(x),D(2) Модель(2,1,2) MS Остаток= ,00163						
Параметр	Парам.	Асимпт. Ст.ошиб.	Асимпт. t(1815)	ρ	Нижняя 95% дов.	Верхняя 95% дов.
p(1)	0,866302	0,089808	9,64614	0,000000	0,690164	1,042440
p(2)	0,062030	0,024280	2,55485	0,010704	0,014412	0,109649
q(1)	-0,084967	0,088972	-0,95499	0,339710	-0,259466	0,089531
q(2)	0,913680	0,083552	10,93541	0,000000	0,749811	1,077549

Рисунок 3.15 – Таблица результатов с оценками параметров модели ARIMA (2, 1, 2)

На рисунке 3.15 наведена оцінка моделі ARIMA (2, 1, 2). Можна спостерігати, що після взяття других різниць коефіцієнти стали значимі, проте не всі. Побудуємо моделі ARIMA (0, 1, 2), ARIMA (2, 1, 0), ARIMA (0, 2, 2) та ARIMA (2, 2, 0) (рис. 3.16-3.19).

Исход.:PRICE (Bitcoin) Преобразования: ln(x),D(2) Модель(0,1,2) MS Остаток= ,00163						
Параметр	Парам.	Асимпт. Ст.ошиб.	Асимпт. t(1817)	ρ	Нижняя 95% дов.	Верхняя 95% дов.
q(1)	-0,956183	0,016038	-59,6214	0,000000	-0,987637	-0,924729
q(2)	0,043057	0,018205	2,3651	0,018130	0,007352	0,078762

Рисунок 3.16 – Таблица результатів з оцінками параметрів моделі ARIMA (0, 1, 2)

Исход.:PRICE (Bitcoin) Преобразования: ln(x),D(2) Модель(2,1,0) MS Остаток= ,00212						
Параметр	Парам.	Асимпт. Ст.ошиб.	Асимпт. t(1817)	ρ	Нижняя 95% дов.	Верхняя 95% дов.
p(1)	0,651702	0,022344	29,1666	0,00	0,607879	0,695525
p(2)	-0,305838	0,022345	-13,6873	0,00	-0,349662	-0,262014

Рисунок 3.17 – Таблица результатів з оцінками параметрів моделі ARIMA (2, 1, 0)

Исход.:PRICE (Bitcoin) Преобразования: ln(x),2*D(2) Модель(0,2,2) MS Остаток= ,00308						
Параметр	Парам.	Асимпт. Ст.ошиб.	Асимпт. t(1815)	ρ	Нижняя 95% дов.	Верхняя 95% дов.
q(1)	-0,509253	0,152843	-3,33187	0,000880	-0,809020	-0,209486
q(2)	0,490638	0,151960	3,22874	0,001266	0,192604	0,788673

Рисунок 3.18 – Таблица результатів з оцінками параметрів моделі ARIMA (0, 2, 2)

Исход.:PRICE (Bitcoin) Преобразования: ln(x),2*D(2) Модель(2,2,0) MS Остаток= ,00371						
Параметр	Парам.	Асимпт. Ст.ошиб.	Асимпт. t(1815)	ρ	Нижняя 95% дов.	Верхняя 95% дов.
p(1)	0,388201	0,018836	20,6097	0,00	0,351259	0,425143
p(2)	-0,597222	0,018837	-31,7039	0,00	-0,634167	-0,560277

Рисунок 3.19 – Таблица результатів з оцінками параметрів моделі ARIMA (2, 2, 0)

Отримані оцінки (рис. 3.16-3.19) є статистично значущими та досить непогано описують вхідні дані. Для вибору кращої моделі здійснимо прогноз та верифікацію декількох з них, а саме моделі ARIMA (0, 1, 2), ARIMA (2, 1, 0), ARIMA (0, 2, 2) та ARIMA (2, 2, 0).

3.2 Прогнозування курсу криптовалюти Bitcoin та верифікація моделі

Використовуючи отримані моделі, обчислимо прогнози, починаючи з останнього спостереження. Таблиці результатів містять прогнозні 20 значень та їх довірчі інтервали (рис. 3.20-3.23).

Прогнозы; Модель:(0,1,2) Сезонный лаг: 12 (Bitcoin) Исход.:PRICE Начало исходных: 1 Конец исходн.: 1821			
Набл. N	Прогноз	Нижний 90,0000%	Верхний 90,0000%
1822	10715,89	10026,26	11452,96
1823	10717,91	9775,51	11751,15
1824	10715,89	9581,40	11984,72
1825	10717,91	9423,42	12190,21
1826	10715,89	9282,49	12370,64
1827	10717,91	9160,14	12540,58
1828	10715,89	9045,47	12694,79
1829	10717,91	8943,33	12844,59
1830	10715,89	8845,01	12982,50
1831	10717,91	8756,30	13118,95
1832	10715,89	8669,40	13245,47
1833	10717,91	8590,43	13372,26
1834	10715,89	8512,08	13490,28
1835	10717,91	8440,57	13609,68
1836	10715,89	8368,93	13721,03
1837	10717,91	8303,37	13834,55
1838	10715,89	8237,17	13940,51
1839	10717,91	8176,50	14049,22
1840	10715,89	8114,82	14150,70
1841	10717,91	8058,25	14255,38

Рисунок 3.20 – Таблица прогнозних значень моделі ARIMA (0, 1, 2) для змінної Bitcoin

Прогнозы; Модель:(2,1,0) Сезонный лаг: 12 (Bitcoin) Исход.:PRICE Начало исходных: 1 Конец исходн.: 1821				
Набл. N	Прогноз	Нижний 90,0000%	Верхний 90,0000%	
1822	10423,82	9662,780	11244,80	
1823	10801,74	9867,207	11824,79	
1824	10405,60	9191,806	11779,67	
1825	10770,35	9453,856	12270,17	
1826	10391,44	8935,651	12084,40	
1827	10770,38	9219,601	12582,00	
1828	10395,78	8740,585	12364,43	
1829	10773,31	9019,480	12868,16	
1830	10396,30	8564,208	12620,31	
1831	10772,76	8840,465	13127,39	
1832	10395,79	8407,615	12854,12	
1833	10772,58	8682,138	13366,36	
1834	10395,84	8266,747	13073,28	
1835	10772,67	8538,819	13590,92	
1836	10395,88	8137,605	13280,85	
1837	10772,67	8407,108	13803,84	
1838	10395,87	8018,077	13478,80	
1839	10772,66	8285,039	14007,20	
1840	10395,87	7906,634	13668,78	
1841	10772,66	8171,066	14202,58	

Рисунок 3.21 – Таблица прогнозных значений модели ARIMA (2, 1, 0)
для змінної Bitcoin

Прогнозы; Модель:(0,2,2) Сезонный лаг: 12 (Bitcoin) Исход.:PRICE Начало исходных: 1 Конец исходн.: 1821				
Набл. N	Прогноз	Нижний 90,0000%	Верхний 90,0000%	
1822	10216,45	9325,091	11193,01	
1823	10713,56	9670,342	11869,32	
1824	10195,65	8587,082	12105,53	
1825	10687,78	8791,984	12992,37	
1826	10174,88	7778,992	13308,69	
1827	10662,07	7878,471	14429,15	
1828	10154,16	6940,335	14856,20	
1829	10636,41	6963,919	16245,64	
1830	10133,48	6108,047	16811,83	
1831	10610,82	6078,876	18521,44	
1832	10112,85	5309,434	19261,87	
1833	10585,29	5245,424	21361,17	
1834	10092,25	4563,076	22321,24	
1835	10559,82	4477,950	24901,98	
1836	10071,70	3880,454	26141,04	
1837	10534,41	3784,528	29323,04	
1838	10051,19	3267,458	30918,94	
1839	10509,07	3168,280	34858,18	
1840	10030,72	2725,713	36913,38	
1841	10483,78	2628,598	41813,05	

Рисунок 3.22 – Таблица прогнозных значений модели ARIMA (0, 2, 2)
для змінної Bitcoin

Прогнозы; Модель:(2,2,0) Сезонный лаг: 12 (Bitcoin) Исход.:PRICE Начало исходных: 1 Конец исходн.: 1821			
Набл. N	Прогноз	Нижний 90,0000%	Верхний 90,0000%
1822	10011,99	9057,638	11066,89
1823	10571,74	9494,633	11771,04
1824	9686,58	8017,497	11703,13
1825	10583,91	8728,540	12833,65
1826	9494,34	7075,858	12739,45
1827	10542,83	7803,384	14243,98
1828	9215,93	6055,675	14025,41
1829	10493,90	6849,131	16078,23
1830	8995,08	5162,820	15671,96
1831	10472,32	5964,573	18386,82
1832	8759,51	4326,962	17732,78
1833	10425,37	5106,499	21284,33
1834	8533,68	3590,517	20282,21
1835	10395,43	4334,879	24929,16
1836	8316,81	2948,193	23461,58
1837	10357,08	3636,194	29500,39
1838	8101,04	2395,196	27399,39
1839	10321,75	3021,005	35265,91
1840	7894,29	1928,666	32312,40
1841	10286,55	2486,397	42556,83

Рисунок 3.23 – Таблица прогнозних значень моделі ARIMA (2, 2, 0)
для змінної Bitcoin

Проаналізувавши залишки для кожної з моделей, було зроблено висновок, що найкраще описує вхідні дані модель ARIMA (0, 1, 2). Тому продовжимо роботу саме з нею. Побудуємо графік з урахуванням прогнозних значень (рис. 3.24).



Рисунок 3.24 – Графік прогнозних значень для змінної Bitcoin

Щоб перевірити, наскільки добре побудована модель АРПСС прогнозує останні 20 спостережень, необхідно її верифікувати. Є два припущення моделі АRІМА:

- залишки (спостережувані мінус оцінені значення) нормально розподілені;
- залишки незалежні один з одним, тобто між ними немає залишкової кореляції [26].

Якщо остання умова не виконана, то, цілком імовірно, що було не враховано деякий додатковий параметр, який впливає на ряд. Нижче показані графік залишків, нормальний імовірнісний графік для змінної та нормальний графік без тренду, а також гістограма розподілу залишків (рис. 3.25-3.28), які використовуються для візуального підтвердження нормальності залишків.



Рисунок 3.25 – Графік залишків для змінної Bitcoin

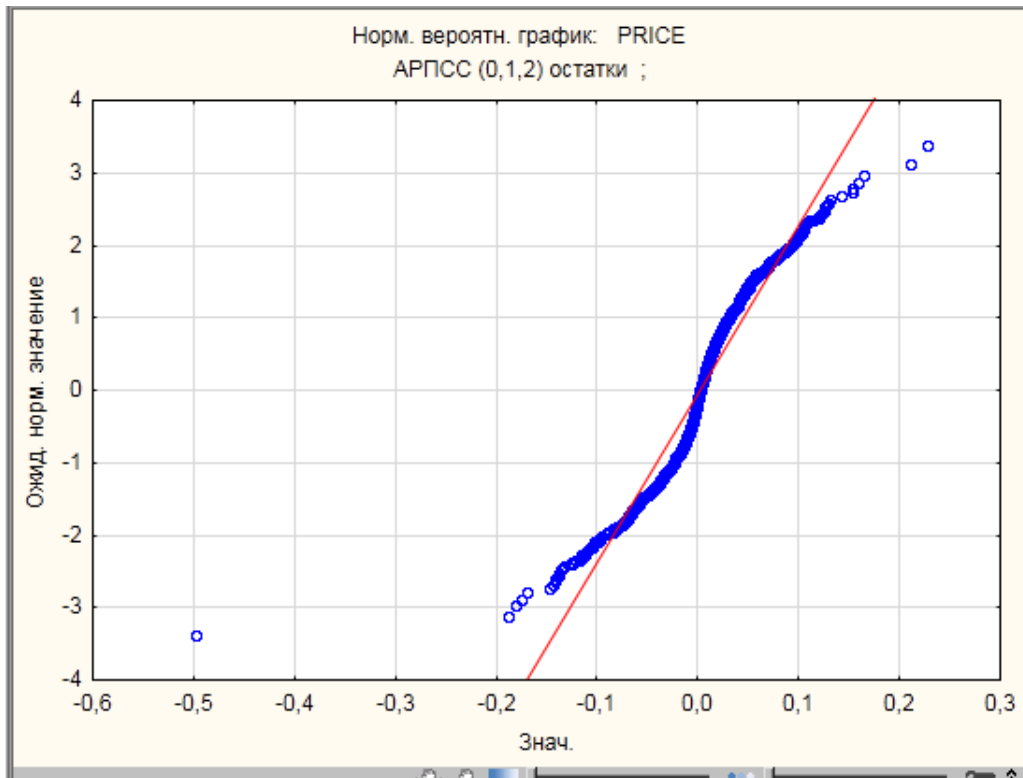


Рисунок 3.26 – Нормальний імовірнісний графік для змінної Bitcoin

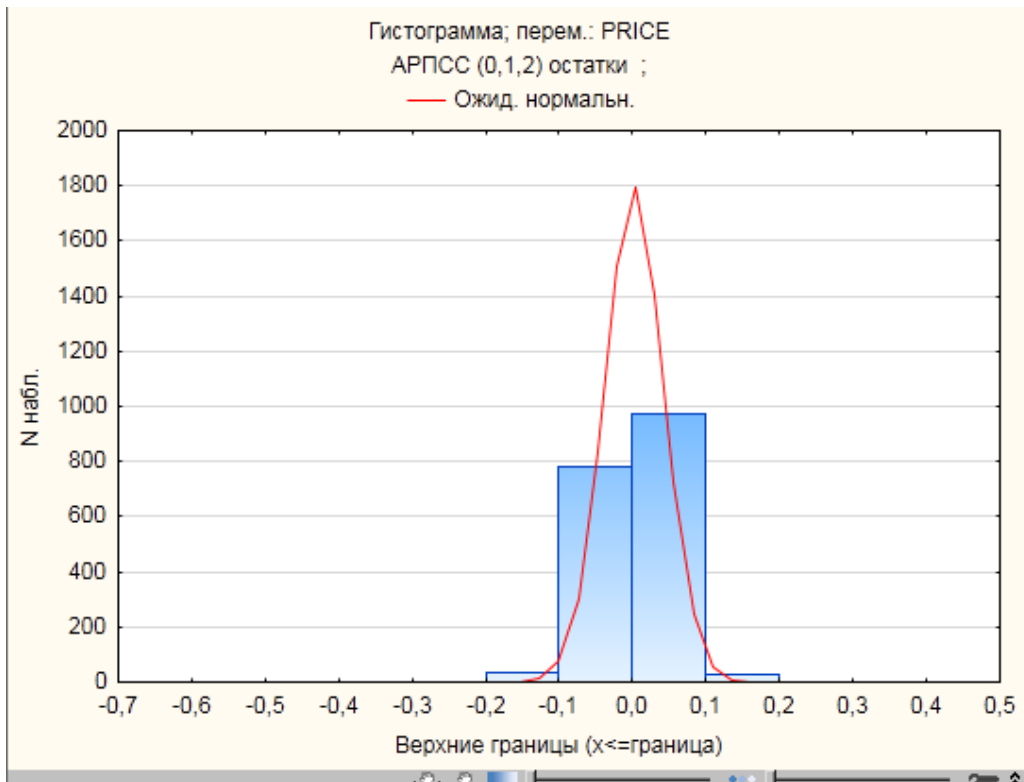


Рисунок 3.27 – Гістограма залишків для змінної Bitcoin



Рисунок 3.28 – Нормальный імовірнісний графік без тренду для змінної Bitcoin

З побудованих графіків можна зробити наступні висновки:

- залишки представляють собою «білий шум» (рис. 3.25);
- не всі залишки потрапляють на лінію імовірнісного графіку, що вказує на наявність викидів (рис. 3.26);
- оскільки тренд було виключено, то розподіл на рисунку 3.27 говорить про нормальність, оскільки дані рівномірно розподілені;
- гістограма відображає нормальний розподіл залишків (рис. 3.28).

Тепер розглянемо виконання другого припущення ARIMA – залишки незалежні один з одним. Незалежність залишків перевіримо за допомогою графіка автокореляційної функції (рис. 3.29). З графіка видно, що кореляція між залишками відсутня, оскільки значення автокореляційної функції наближається до 0.

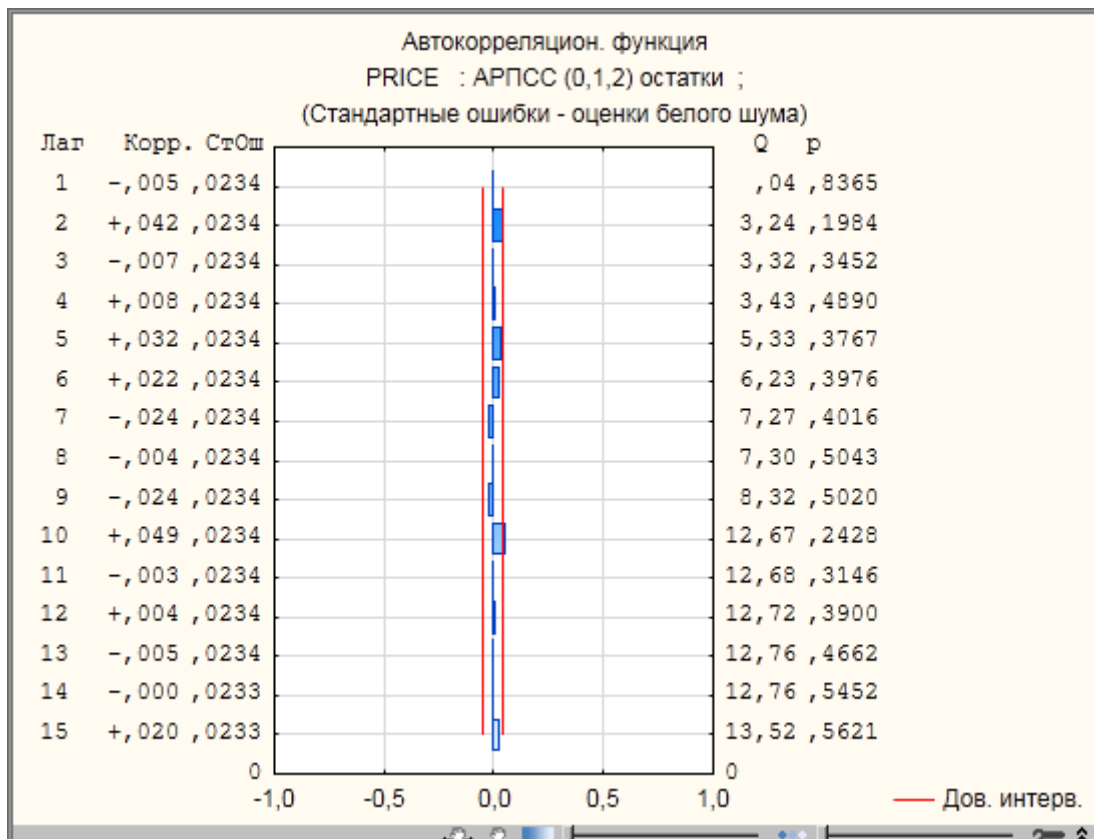


Рисунок 3.29 – Графік автокорреляційної функції залишків

Останнім етапом є перевірка адекватності нашої моделі, що буде здійснено шляхом порівняння отриманих нами прогнозних значень з фактичними за цей період. Дані наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Фактичні та прогнозовані дані курсу Bitcoin з 25 вересня по 14 жовтня 2020 р.

Дата	Курс Bitcoin фактичний	Курс Bitcoin прогнозний	Нижній інтервал	Верхній інтервал	Відхилення прогнозованого курсу від фактичного
25.09.2020	10 688,80	10 715,89	10 026,26	11 452,96	-0,253
26.09.2020	10 727,90	10 717,91	9 775,51	11 751,15	0,093
27.09.2020	10 776,20	10 715,89	9 581,40	11 984,72	0,560
28.09.2020	10 693,20	10 717,91	9 423,42	12 190,21	-0,231
29.09.2020	10 840,90	10 715,89	9 282,49	12 370,64	1,153
30.09.2020	10 776,10	10 717,91	9 160,14	12 540,58	0,540
01.10.2020	10 620,50	10 715,89	9 045,47	12 694,79	-0,898
02.10.2020	10 572,30	10 717,91	8 943,33	12 844,59	-1,377
03.10.2020	10 544,20	10 715,89	8 845,01	12 982,50	-1,628

Продовження таблиці 3.2

04.10.2020	10 672,90	10 717,91	8 756,30	13 118,95	-0,422
05.10.2020	10 789,50	10 715,89	8 669,40	13 245,47	0,682
06.10.2020	10 602,60	10 717,91	8 590,43	13 372,26	-1,088
07.10.2020	10 670,90	10 715,89	8 512,08	13 490,28	-0,422
08.10.2020	10 924,10	10 717,91	8 440,57	13 609,68	1,888
09.10.2020	11 054,20	10 715,89	8 368,93	13 721,03	3,060
10.10.2020	11 298,40	10 717,91	8 303,37	13 834,55	5,138
11.10.2020	11 371,00	10 715,89	8 237,17	13 940,51	5,761
12.10.2020	11 533,90	10 717,91	8176,50	14 049,22	7,075
13.10.2020	11 423,80	10 715,89	8 114,82	14 150,70	6,197
14.10.2020	11 420,40	10 717,91	8 058,25	14 255,38	6,151

Як бачимо, перші 15 значень були спрогнозовані досить точно (похибка складає менше 5%). З подальшими значеннями, починаючи з 10.10.2020, якість прогнозу падає.

Такими чином, можна зробити висновки, що отримана нами ARIMA-модель є адекватною і досить точно прогнозує значення в межах одного періоду. Навряд чи вона є придатною для довгострокового прогнозування, оскільки не враховує значних змін курсу, які можуть відбуватися на міжнародному ринку, проте її можна досить успішно застосовувати для короткострокових прогнозів.

ВИСНОВКИ

Стрімкий розвиток фінансового ринку та економічної системи в цілому сприяє їх постійному дослідженню та виявленню нових методів аналізу та моделювання. Так, відносно новим та цікавим є метод фрактального аналізу.

У ході даної кваліфікаційної роботи було проведено аналіз моделей прогнозування часових рядів із змінною фрактальною структурою на прикладі динаміки курсу криптовалюти Bitcoin. Для аналізу було вирішено використати R/S-аналіз. На основі розрахунку показника Херста було зроблено висновки щодо характеру вхідних даних. Досліджуваний часовий ряд є персистентним, тобто таким, що має довготривалу пам'ять.

За допомогою програмного пакету Statistica було реалізовано ARIMA-модель і отримано прогнозні оцінки курсу Bitcoin на короткостроковий період. Похибка перших 15 отриманих значень знаходиться в межах 5%, що є гарним результатом.

Спираючись на отримані вище результати, було доведено, що застосування фрактального аналізу у вивченні властивостей фінансових ринків та використання такого роду моделей з високим рівнем достовірності передбачує майбутній стан досліджуваного ринку, а отже їх використання є досить перспективним при прогнозуванні майбутніх станів ринку криптовалют.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дученко М. М. Вплив криптовалют на економіку країни / М. М. Дученко, Т. В. Павленко. // ЕКОНОМІКА І СУСПІЛЬСТВО. – 2018. – №19. – С. 1002–1009.
2. Корнєєв В.В., Чеберяко О.В. Криптовалюти: ера і сфера фінансових інновацій. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. 2018. №196. С. 40–46.
3. Дохідність 149-214%: топ-5 прибуткових криптовалют 2020 року [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://minfin.com.ua/ua/2020/06/18/47186138/>.
4. БИТКОИН (КРИПТОВАЛЮТА) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ru.tradingview.com/ideas/bitcoin/>.
5. Капитализация рынка криптовалют [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ru.investing.com/crypto/charts>.
6. ЭФИРИУМ (КРИПТОВАЛЮТА) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ru.tradingview.com/ideas/ethereum/>.
7. Стоимость криптовалюты Idea Chain Coin Idea Chain Coin ICH [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.masterinvest.info/cryptocurrency-ICH-idea-chain-coin.html>.
8. Сохацька О. М. ВИКОРИСТАННЯ ФРАКТАЛІВ У ТЕХНІЧНОМУ АНАЛІЗІ РИНКУ FOREX / О. М. Сохацька, І. І. Роговська-Іщук.
9. Понькина Є. В. Методы анализа временных рядов УРОК 5. Тема: «Фрактальный анализ временных рядов: R/S- анализ» [Електронний ресурс] / Є. В. Понькина // 2014 – Режим доступу до ресурсу: <https://docplayer.ru/53606702-Metody-analiza-vremennyh-ryadov-urok-5-tema-fraktalnuu-analiz-vremennyh-ryadov-r-s-analiz.html>.

10. Фрактальний аналіз фінансових ринків. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://sites.google.com/site/ne4itkalogika/fraktalnij-analiz-finansovih-rinkiv/gipoteza-fraktalnogo-rinku>.

11. Александровская Ю. П. Использование фрактальных методов для анализа финансовых рядов. Вестник Казанского технологического университета. 2014. С. 257–261.

12. Фрактальний аналіз фінансових ринків. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://sites.google.com/site/ne4itkalogika/fraktalnij-analiz-finansovih-rinkiv/gipoteza-fraktalnogo-rinku>.

13. Фракталы на Форекс – что нужно знать [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <http://tlap.com/indicator-fraktalyi/>.

14. Фрактальный анализ на рынке криптовалют [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://de.tradingview.com/chart/BTCUSD/LE6RG3BG-fraktalbnyj-analiz-na-rynke-kriptovalyut/>.

15. Палювина А. С. ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИНАНСОВОГО РЫНКА НА ОСНОВЕ КОЭФИЦИЕНТА ХЁРСТА / А. С. Палювина. // ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ВЕКТОР ЭКОНОМИКИ». – 2019. – №4.

16. Биткоин - Bitcoin [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ru.investing.com/crypto/bitcoin/historical-data>.

17. Зігунов О. М. ФРАКТАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЗАДАЧІ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ПРОЦЕСУ ЕКСТРАГУВАННЯ ЦУКРУ / О. М. Зігунов, В. Д. Кишенько. // Міжвузівський збірник "НАУКОВІ НОТАТКИ". – 2010. – №27. – С. 116-122.

18. Коротченко І. Оценка индекса фрактальности, показателя херста и возможность предсказания финансовых временных рядов. [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.mql5.com/ru/articles/6834>.

19. Левицький Б. П. ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРУ ВИХІДНОГО ТРАФІКА МУЛЬТИСЕРВІСНОЇ МЕРЕЖІ / Б. П. Левицький. // СТАН,

ДОСЯГНЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ І ТЕХНОЛОГІЙ. – 2020. – С. 63-65.

20. RS-анализ (анализ фрактальной структуры временных рядов) [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа до ресурсу: <https://habr.com/ru/post/256381/>.

21. Чумаченко Д. І. Математичні моделі та методи прогнозування епідемічних процесів: монографія / Д. І. Чумаченко, Т. О. Чумаченко. – Харків: ТОВ "Планета-Прінт", 2020. – 180 с.

22. Трансформаційні процеси у фінансовому секторі національної економіки: теорія, методологія та моделювання : монографія / авт. кол.; за заг. ред. д-ра екон. наук, проф. О. І. Барановського. Київ : ДВНЗ«Університет банківської справи», 2017. С. 353-355.

23. Остапенко Е. С. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ С ДОЛГОВРЕМЕННОЙ ПАМЯТЬЮ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛЕЙ КЛАССА ARFIMA / Е. С. Остапенко, Т. А. Дунаева. // ЕКОНОМІЧНИЙ ВІСНИК НТУУ «КПІ». – С. 270–273.

24. Крюков Ю. А. ARIMA – модель прогнозирования значений трафика / Ю. А. Крюков, Д. В. Чернягин. // ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ. – 2011. – №2. – С. 41–49.

25. Коротченко І. Оценка индекса фрактальности, показателя херста и возможность предсказания финансовых временных рядов. [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.mql5.com/ru/articles/6834>.

26. Метод Фостера - Стьюарта [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://studme.org/163308269278/ekonomika/metod_fostera_styuarta.

27. Трансформаційні процеси у фінансовому секторі національної економіки: теорія, методологія та моделювання : монографія / авт. кол.; за заг. ред. д-ра екон. наук, проф. О. І. Барановського. Київ : ДВНЗ«Університет банківської справи», 2017. С. 353-355.

28. Запорожчук Т. Моделювання та прогнозування ціни на ринку нафти засобами ARIMA-моделі. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://phm.cuspu.edu.ua/nauka/konferentsii/fizyka-tekhnologii-navchannia/104-2018/matematyka-statystyka-osvitni-vymiriuvannia/1413-modelyuvannya-ta-prohnozuvannya-tsiny-na-rynku-nafty-zasobamy-arima-modeli.html>.

29. Statistica. A brief tutorial. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www2.psych.utoronto.ca/courses/c1/statistica/page1.htm>

30. Dell Statistica Help. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://documentation.statsoft.com/STATISTICAHelp.aspx?path=common/AboutSTATISTICA/ElectronicManualIndex>

31. Example 2: Single Series ARIMA. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://documentation.statsoft.com/STATISTICAHelp.aspx?path=TimeSeries/TimeSeries/Examples/Example2SingleSeriesARIMA>

32. Applied Time Series Analysis for Fisheries and Environmental Sciences. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://nwfsctimeseries.github.io/atsa-labs/>

33. Dickey–Fuller test. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://en.wikipedia.org/wiki/Dickey%E2%80%93Fuller_test

34. ADF — Augmented Dickey Fuller Test. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.statisticshowto.datasciencecentral.com/adf-augmented-dickey-fuller-test/>

35. Unit Root & Augmented Dickey-Fuller (ADF) Test. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: http://www.ams.sunysb.edu/~zhu/ams586/UnitRoot_ADF.pdf

36. Zaiantz C. Dickey-Fuller Test. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.real-statistics.com/time-series-analysis/stochastic-processes/dickey-fuller-test/>

37. Test Case Selection and Adequacy. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.cs.toronto.edu/~chechik/courses18/csc410/Ch9-10AdequacyAndFunctional.pdf>

38. Прогнозування та аналіз часових рядів. Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи студентів спеціальності 051 «Економіка» освітня програма «Економічна кібернетика», «Економічна аналітика» / Укл.: Юрченко М. Є. – Чернігів: ЧНТУ, 2018. – 88 с.

39. Статистика: задача с решением в Statistica [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://docplayer.ru/80518264-Statistika-zadacha-s-resheniem-v-statistica.html>.

40. Економетрика: навч. посібник для студентів екон. фак. очн. і заочн. форми навчання / М. А. Кривцова; Иркут. держ. с.-г. акад. – Иркутськ: ІрГСХА, 2009. – 162 с.

41. Introduction to ARIMA: nonseasonal models [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://people.duke.edu/~rnau/411arim.htm>.

42. Копнова Є. Д. СТАТИСТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К АНАЛИЗУ И ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ / Є. Д. Копнова. // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Экономика. Управление. Право. – 2016. – №3. – С. 306–315.

43. Зиненко А. В. R/S АНАЛИЗ НА ФОНДОВОМ РЫНКЕ / А. В. Зиненко. // БИЗНЕС-ИНФОРМАТИКА. – 2012. – №3. – С. 24–30.

44. Dhari Al Abdulhadi. Stock Market Behavior: A Fractal Analysis of Saudi Stock Exchange / Dhari Al Abdulhadi, Shekar Shetty, Mansour Alshamali. // INTERNATIONAL JOURNAL OF BUSINESS. – 2015. – №20. – С. 64–78.

45. Omekara C. O. Forecasting Liquidity Ratio of Commercial Banks in Nigeria / Omekara C. O., Okereke O. E., Ukaegeu L. U.. // Microeconomics and Macroeconomics. – 2016. – №4. – С. 28–36.

46. Sergey Vladislavovich Makletsov. APPLICATION OF FRACTAL ANALYSIS METHOD FOR STUDYING STOCK MARKET / Sergey Vladislavovich

Makletsov, Nadezhda Anatolevna Opopkina, Inar Kasiymovich Shafigullin. // International Transaction Journal of Engineering. – 2020. – С. 1–8.

47. Прудский М. В. ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИНАНСОВЫХ РЫНКОВ / М. В. Прудский.

48. KOLODIY Sergii. FRACTAL ANALYSIS OF FINANCIAL MARKET DEVELOPMENT INDICATORS / KOLODIY Sergii, HARIANA Lesia. // ФІНАНСОВИЙ ПРОСТІР. – 2018. – №3. – С. 48–49.

49. Михайлов А. Ю. Развитие рынка криптовалют: метод Херста / А. Ю. Михайлов. // КРИПТОВАЛЮТЫ. – С. 81–91.

50. АНАЛИЗ ВЗАИМОЗАВИСИМОСТИ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ БИТКОИНА И АКТИВНОСТИ СООБЩЕСТВ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ / Л.Кириченко, Т. Радивилова, В. Булах, В. Чакрян. // ITHEA IJ and IBS Sample Sheet. – 2013. – С. 1–13.

51. Mária Bohdalová. FINANCIAL MARKETS DURING ECONOMIC CRISIS / Mária Bohdalová, Michal Greguš. // E-Leader Tallinn. – 2009.

52. Erhan Bayraktar. Estimating the Fractal Dimension of the S&P 500 Index using Wavelet Analysis / Erhan Bayraktar, H. Vincent Poor, K. Ronnie Sircar. – 2003. – С. 26.

53. Jonathan Blackledge. The Fractal Market Hypothesis: Applications to Financial Forecasting / Jonathan Blackledge., 2010. – 101 с.

54. A. Yu. Mikhailov. Cryptocurrency Market Development: Hurst Method / A. Yu. Mikhailov. // CRYPTOCURRENCY. – 2020. – С. 81–91.

55. Guglielmo Maria Caporale. Persistence in the cryptocurrency market / Guglielmo Maria Caporale, LuisGil-Alana, AlexPlastun. // Research in International Business and Finance. – 2018. – С. 141–148.

56. Monitoring and modelling of cryptocurrency trend resistance by recurrent and R/S-analysis / Hanna Danylchuk, Oksana Kovtun, Liubov Kibalnyk, Oleksii Sysoiev. // E3S Web of Conferences. – 2020. – №166.

57. V. Derbentsev. Modelling multifractal properties of cryptocurrency market / V. Derbentsev, L. Kibalnyk, Yu. Radzihovska. // Periodicals of Engineering and Natural Sciences. – 2019. – №2. – С. 690–701.

58. The Future of Blockchain: 13 top companies 2020 [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.beahurst.com/blog/future-of-blockchain-top-companies/>.

59. Some comments on Bitcoin market (in)efficiency / V. Dimitrova, M. Fernández-Martínez, M. A. Sánchez-Granero, J. E. Trinidad Segovia. – 2018.

60. What is Bitcoin? [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.investopedia.com/terms/b/bitcoin.asp>.

61. Excel VLOOKUP Function [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://exceljet.net/excel-functions/excel-vlookup-function>.

62. Функции МАКС и МИН в Excel по условию [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://statanaliz.info/excel/funktsii-i-formuly/funktsiya-maks-i-min-po-usloviyu/>.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А
(обов'язковий)

SUMMARY

Orekhova Y.V. Prediction of Bitcoin exchange rate dynamics based on fractal analysis. – Qualifying master's thesis. Sumy State University, Sumy, 2020.

The paper examines the features of analysis and modeling of cryptocurrencies based on fractal analysis. The main purpose of this work is to build a mathematical model for predicting the dynamics of the Bitcoin course in order to improve the accuracy of forecasting. The key research methods are R/S-analysis and ARIMA-model, which were implemented using MS Excel and Statistica software.

Keywords: cryptocurrency, Bitcoin, fractal, R/S analysis, Foster-Stewart test, Dickie-Fuller test, ARIMA-model, cryptocurrency exchange rate forecasting.

АНОТАЦІЯ

Орехова Я.В. Прогнозування динаміки курсу Bitcoin на основі фрактального аналізу. – Кваліфікаційна магістерська робота. Сумський державний університет, Суми, 2020.

У роботі досліджено особливості аналізу та моделювання криптовалют на основі фрактального аналізу. Основною метою роботи є побудова математичної моделі для прогнозування динаміки курсу Bitcoin в інтересах підвищення точності прогнозування. Ключовими методами дослідження є R/S-аналіз та ARIMA-модель, які були реалізовані за допомогою програмного забезпечення MS Excel та Statistica.

Ключові слова: криптовалюта, Bitcoin, фрактал, R/S-аналіз, тест Фостера-Стюарта, тест Дикки-Фуллера, ARIMA-модель, прогнозування курсу криптовалют.

Додаток Б (інформаційний)

Фрагменти розрахунків R/S-аналізу за допомогою MS Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	t	Mt	Nt	E(la)	Ni,a - E(la)	(Ni,a - E(la))^2	Xk,a	Ri,a	Si,a	RS(A)				
2	1	237,10	-	-	-	-	-	-	-	-	la	10	R/Sa	3,337856
3	2	236,70	-0,00169	0,003441	-0,00513	2,6309E-05	-0,00513	0,025326	0,008859036	2,858783477	2	11	0,0034408	2,858783
4	3	238,60	0,007995	0,003441	0,004554	2,07411E-05	-0,00057	0,025326	0,008859036	2,858783477	12	21	0,0094791	2,742411
5	4	238,30	-0,00126	0,003441	-0,0047	2,20795E-05	-0,00527	0,025326	0,008859036	2,858783477	22	31	0,0192585	2,782437
6	5	240,10	0,007525	0,003441	0,004084	1,6682E-05	-0,00119	0,025326	0,008859036	2,858783477	32	41	0,0150431	4,250463
7	6	246,10	0,024682	0,003441	0,021242	0,00045121	0,020052	0,025326	0,008859036	2,858783477	42	51	-0,015687	4,4169
8	7	243,00	-0,01268	0,003441	-0,01612	0,000259766	0,003935	0,025326	0,008859036	2,858783477	52	61	0,0131838	3,693385
9	8	242,60	-0,00165	0,003441	-0,00509	2,58898E-05	-0,00115	0,025326	0,008859036	2,858783477	62	71	0,0115022	3,11289
10	9	244,00	0,005754	0,003441	0,002313	5,35217E-06	0,00116	0,025326	0,008859036	2,858783477	72	81	0,0103147	3,278739
11	10	245,40	0,005721	0,003441	0,002281	5,20092E-06	0,003441	0,025326	0,008859036	2,858783477	82	91	-0,006564	2,777288
12	11	247,60	0,008925	0,003441	0,005484	3,0077E-05	0,008925	0,025326	0,008859036	2,858783477	92	101	0,0047477	2,969348
13	12	245,40	-0,00893	0,009479	-0,0184	0,000338713	-0,00948	0,047233	0,017223102	2,742411023	102	111	-0,016399	3,051211
14	13	248,80	0,01376	0,009479	0,004281	1,83243E-05	-0,0052	0,047233	0,017223102	2,742411023	112	121	-0,00123	2,012373
15	14	252,30	0,013969	0,009479	0,00449	2,01633E-05	-0,00071	0,047233	0,017223102	2,742411023	122	131	-0,000475	2,728476
16	15	254,40	0,008289	0,009479	-0,00119	1,41649E-06	-0,0019	0,047233	0,017223102	2,742411023	132	141	0,0098696	2,901069
17	16	262,90	0,032866	0,009479	0,023387	0,000546941	0,021488	0,047233	0,017223102	2,742411023	142	151	0,0033478	2,945198
18	17	269,60	0,025166	0,009479	0,015687	0,000246066	0,037175	0,047233	0,017223102	2,742411023	152	161	-0,004602	4,327647
19	18	261,70	-0,02974	0,009479	-0,03922	0,001538186	-0,00204	0,047233	0,017223102	2,742411023	162	171	-0,000902	2,220749
20	19	263,80	0,007992	0,009479	-0,00149	2,21031E-06	-0,00353	0,047233	0,017223102	2,742411023	172	181	0,0033722	3,181746
21	20	269,80	0,02249	0,009479	0,013011	0,000169275	0,009479	0,047233	0,017223102	2,742411023	182	191	-0,000499	5,67532
22	21	267,10	-0,01006	0,009479	-0,01954	0,000381693	-0,01006	0,047233	0,017223102	2,742411023	192	201	0,0014651	3,603311
23	22	274,40	0,026964	0,019258	0,007705	5,93713E-05	-0,00235	0,069089	0,024830267	2,78243656	202	211	0,0047415	2,907283
24	23	276,90	0,00907	0,019258	-0,01019	0,000103815	-0,01254	0,069089	0,024830267	2,78243656	212	221	0,0025402	2,647503
25	24	282,60	0,020376	0,019258	0,001118	1,2489E-06	-0,01142	0,069089	0,024830267	2,78243656	222	231	-0,001141	2,987589
26	25	287,90	0,018581	0,019258	-0,00068	4,59374E-07	-0,0121	0,069089	0,024830267	2,78243656	232	241	0,0044653	4,509581
27	26	285,10	-0,00977	0,019258	-0,02903	0,00084284	-0,04113	0,069089	0,024830267	2,78243656	242	251	0,0208008	3,980669

Рисунок Б.1 – Фрагменти розрахунків показника R/S для $I_a = 10$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	t	Mt	Nt	E(la)	Ni,a - E(la)	(Ni,a - E(la))^2	Xk,a	Ri,a	Si,a	RS(A)				
2	1	237,10	-	-	-	-	-	-	-	-	la	13	R/Sa	3,781138
3	2	236,70	-0,00169	0,003705	-0,00539	2,90916E-05	-0,00539	0,02508	0,009355138	2,680828099	2	14	0,0037052	2,680828
4	3	238,60	0,007995	0,003705	0,00429	1,84025E-05	-0,0011	0,02508	0,009355138	2,680828099	15	27	0,0104762	2,932366
5	4	238,30	-0,00126	0,003705	-0,00496	2,46344E-05	-0,00607	0,02508	0,009355138	2,680828099	28	40	0,0203829	3,877019
6	5	240,10	0,007525	0,003705	0,00382	1,45919E-05	-0,00225	0,02508	0,009355138	2,680828099	41	53	-0,010378	3,380686
7	6	246,10	0,024682	0,003705	0,020977	0,000440046	0,01873	0,02508	0,009355138	2,680828099	54	66	0,008301	3,903618
8	7	243,00	-0,01268	0,003705	-0,01638	0,00026836	0,002348	0,02508	0,009355138	2,680828099	67	79	0,017737	3,42812
9	8	242,60	-0,00165	0,003705	-0,00535	2,86506E-05	-0,003	0,02508	0,009355138	2,680828099	80	92	-0,004952	2,971161
10	9	244,00	0,005754	0,003705	0,002049	4,19859E-06	-0,00096	0,02508	0,009355138	2,680828099	93	105	0,0031582	4,001231
11	10	245,40	0,005721	0,003705	0,002016	4,06476E-06	0,001061	0,02508	0,009355138	2,680828099	106	118	-0,009598	3,240424
12	11	247,60	0,008925	0,003705	0,00522	2,72466E-05	0,006281	0,02508	0,009355138	2,680828099	119	131	-0,002975	2,99323
13	12	245,40	-0,00893	0,003705	-0,01263	0,000159522	-0,00635	0,02508	0,009355138	2,680828099	132	144	0,011721	2,669135
14	13	248,80	0,01376	0,003705	0,010055	0,000101096	0,003705	0,02508	0,009355138	2,680828099	145	157	-0,005543	4,686913
15	14	252,30	0,013969	0,003705	0,010264	0,000105356	0,013969	0,02508	0,009355138	2,680828099	158	170	0,0016171	3,141137
16	15	254,40	0,008289	0,010476	-0,00219	4,78396E-06	0,011782	0,051221	0,017467488	2,932366052	171	183	-0,001074	5,272974
17	16	262,90	0,032866	0,010476	0,02239	0,000501299	0,034172	0,051221	0,017467488	2,932366052	184	196	0,0022607	4,656956
18	17	269,60	0,025166	0,010476	0,014689	0,00021578	0,048861	0,051221	0,017467488	2,932366052	197	209	0,0064256	4,116561
19	18	261,70	-0,02974	0,010476	-0,04022	0,001617389	0,008645	0,051221	0,017467488	2,932366052	210	222	-0,000636	2,537294
20	19	263,80	0,007992	0,010476	-0,00248	6,16912E-06	0,006161	0,051221	0,017467488	2,932366052	223	235	-0,002441	3,203159
21	20	269,80	0,02249	0,010476	0,012014	0,000144324	0,018174	0,051221	0,017467488	2,932366052	236	248	0,0188797	3,378729
22	21	267,10	-0,01006	0,010476	-0,02053	0,000421646	-0,00236	0,051221	0,017467488	2,932366052	249	261	0,0226567	3,43751
23	22	274,40	0,026964	0,010476	0,016488	0,00027184	0,014128	0,051221	0,017467488	2,932366052	262	274	-0,013762	4,525434
24	23	276,90	0,00907	0,010476	-0,00141	1,97872E-06	0,012721	0,051221	0,017467488	2,932366052	275	287	0,0040145	3,869056
25	24	282,60	0,020376	0,010476	0,0099	9,80068E-05	0,022621	0,051221	0,017467488	2,932366052	288	300	-0,001928	3,346959
26	25	287,90	0,018581	0,010476	0,008105	6,56833E-05	0,030726	0,051221	0,017467488	2,932366052	301	313	-0,007818	4,065989
27	26	285,10	-0,00977	0,010476	-0,02025	0,000410038	0,010476	0,051221	0,017467488	2,932366052	314	326	-0,001075	3,141838

Рисунок Б.2 – Фрагменти розрахунків показника R/S для $I_a = 13$

Продовження додатку Б

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
	t	Mt	Nt	E(la)	Ni,a - E(la)	(Ni,a - E(la))^2	Xk,a	Ri,a	Si,a	RS(A)				
1	1	237,10	-	-	-	-	-	-	-	-	la	14	R/Sa	4,092196
2	2	236,70	-0,00169	0,004438	-0,00613	3,7538E-05	-0,00613	0,029479	0,009042831	3,259876052	2	15	0,0044383	3,259876
3	3	238,60	0,007995	0,004438	0,003557	1,26497E-05	-0,00257	0,029479	0,009042831	3,259876052	16	29	0,0131973	3,484265
4	4	238,30	-0,00126	0,004438	-0,0057	3,24498E-05	-0,00827	0,029479	0,009042831	3,259876052	30	43	0,0002819	4,14534
5	5	240,10	0,007525	0,004438	0,003087	9,52816E-06	-0,00518	0,029479	0,009042831	3,259876052	44	57	0,0051543	3,721136
6	6	246,10	0,024682	0,004438	0,020244	0,000409824	0,015064	0,029479	0,009042831	3,259876052	58	71	0,0170855	4,490222
7	7	243,00	-0,01268	0,004438	-0,01711	0,000292918	-0,00205	0,029479	0,009042831	3,259876052	72	85	0,0043949	2,970313
8	8	242,60	-0,00165	0,004438	-0,00609	3,70369E-05	-0,00814	0,029479	0,009042831	3,259876052	86	99	-0,001898	4,066512
9	9	244,00	0,005754	0,004438	0,001316	1,73154E-06	-0,00682	0,029479	0,009042831	3,259876052	100	113	-0,002738	3,94503
10	10	245,40	0,005721	0,004438	0,001283	1,64599E-06	-0,00554	0,029479	0,009042831	3,259876052	114	127	-0,008517	4,437163
11	11	247,60	0,008925	0,004438	0,004487	2,01301E-05	-0,00105	0,029479	0,009042831	3,259876052	128	141	0,0089459	4,353647
12	12	245,40	-0,00893	0,004438	-0,01336	0,000178579	-0,01441	0,029479	0,009042831	3,259876052	142	155	0,0014074	3,568779
13	13	248,80	0,01376	0,004438	0,009321	8,689E-05	-0,00509	0,029479	0,009042831	3,259876052	156	169	-0,001613	4,89038
14	14	252,30	0,013969	0,004438	0,009531	9,08428E-05	0,004438	0,029479	0,009042831	3,259876052	170	183	-0,000604	4,299228
15	15	254,40	0,008289	0,004438	0,003851	1,48273E-05	0,008289	0,029479	0,009042831	3,259876052	184	197	0,0018971	4,503367
16	16	262,90	0,032866	0,013197	0,019669	0,000386852	0,027958	0,062875	0,018045539	3,484265049	198	211	0,0038575	3,767759
17	17	269,60	0,025166	0,013197	0,011968	0,00014324	0,039926	0,062875	0,018045539	3,484265049	212	225	0,0008735	2,403071
18	18	261,70	-0,02974	0,013197	-0,04294	0,001843664	-0,00301	0,062875	0,018045539	3,484265049	226	239	-0,000427	4,492832
19	19	263,80	0,007992	0,013197	-0,0052	2,70911E-05	-0,00822	0,062875	0,018045539	3,484265049	240	253	0,0182205	4,259457
20	20	269,80	0,02249	0,013197	0,009292	8,6348E-05	0,001075	0,062875	0,018045539	3,484265049	254	267	0,0012321	4,404609
21	21	267,10	-0,01006	0,013197	-0,02326	0,000540803	-0,02218	0,062875	0,018045539	3,484265049	268	281	0,0092972	4,29167
22	22	274,40	0,026964	0,013197	0,013766	0,000189515	-0,00841	0,062875	0,018045539	3,484265049	282	295	-0,000887	2,865176
23	23	276,90	0,00907	0,013197	-0,00413	1,70388E-05	-0,01254	0,062875	0,018045539	3,484265049	296	309	-0,011399	4,027776
24	24	282,60	0,020376	0,013197	0,007179	5,15337E-05	-0,00536	0,062875	0,018045539	3,484265049	310	323	0,0007402	3,943267
25	25	287,90	0,018581	0,013197	0,005383	2,89809E-05	2,09E-05	0,062875	0,018045539	3,484265049	324	337	0,0001994	4,099342
26	26	285,10	-0,00977	0,013197	-0,02297	0,000527646	-0,02295	0,062875	0,018045539	3,484265049	338	351	0,0042988	4,011593

Рисунок Б.3 – Фрагменти розрахунків показника R/S для $I_a = 14$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
	t	Mt	Nt	E(la)	Ni,a - E(la)	(Ni,a - E(la))^2	Xk,a	Ri,a	Si,a	RS(A)				
1	1	237,10	-	-	-	-	-	-	-	-	la	20	R/Sa	4,763986
2	2	236,70	-0,00169	0,00646	-0,00815	6,63968E-05	-0,00815	0,06175	0,014040905	4,397872353	2	21	0,0064599	4,397872
3	3	238,60	0,007995	0,00646	0,001535	2,35637E-06	-0,00661	0,06175	0,014040905	4,397872353	22	41	0,0171508	5,753966
4	4	238,30	-0,00126	0,00646	-0,00772	5,95687E-05	-0,01433	0,06175	0,014040905	4,397872353	42	61	-0,001252	6,034371
5	5	240,10	0,007525	0,00646	0,001065	1,13459E-06	-0,01327	0,06175	0,014040905	4,397872353	62	81	0,0109084	4,556468
6	6	246,10	0,024682	0,00646	0,018223	0,00033206	0,004956	0,06175	0,014040905	4,397872353	82	101	-0,000908	4,174613
7	7	243,00	-0,01268	0,00646	-0,01914	0,000366204	-0,01418	0,06175	0,014040905	4,397872353	102	121	-0,008814	3,893835
8	8	242,60	-0,00165	0,00646	-0,00811	6,57298E-05	-0,02229	0,06175	0,014040905	4,397872353	122	141	0,0046972	3,855751
9	9	244,00	0,005754	0,00646	-0,00071	4,98039E-07	-0,02299	0,06175	0,014040905	4,397872353	142	161	-0,000627	4,905052
10	10	245,40	0,005721	0,00646	-0,00074	5,4559E-07	-0,02373	0,06175	0,014040905	4,397872353	162	181	0,0012349	3,432347
11	11	247,60	0,008925	0,00646	0,002465	6,07653E-06	-0,02127	0,06175	0,014040905	4,397872353	182	201	0,0004832	6,6096
12	12	245,40	-0,00893	0,00646	-0,01538	0,000236697	-0,03665	0,06175	0,014040905	4,397872353	202	221	0,0036408	4,895874
13	13	248,80	0,01376	0,00646	0,0073	5,32883E-05	-0,02935	0,06175	0,014040905	4,397872353	222	241	0,0016624	6,548937
14	14	252,30	0,013969	0,00646	0,00751	5,63933E-05	-0,02184	0,06175	0,014040905	4,397872353	242	261	0,0236844	4,937846
15	15	254,40	0,008289	0,00646	0,001829	3,34534E-06	-0,02001	0,06175	0,014040905	4,397872353	262	281	-0,00618	5,039452
16	16	262,90	0,032866	0,00646	0,026406	0,000697274	0,006393	0,06175	0,014040905	4,397872353	282	301	-0,001379	3,40999
17	17	269,60	0,025166	0,00646	0,018706	0,000349903	0,025098	0,06175	0,014040905	4,397872353	302	321	-0,007168	4,952152
18	18	261,70	-0,02974	0,00646	-0,0362	0,001310477	-0,0111	0,06175	0,014040905	4,397872353	322	341	0,003614	5,289087
19	19	263,80	0,007992	0,00646	0,001532	2,3485E-06	-0,00957	0,06175	0,014040905	4,397872353	342	361	-0,000569	4,157371
20	20	269,80	0,02249	0,00646	0,01603	0,000256953	0,00646	0,06175	0,014040905	4,397872353	362	381	0,0028464	3,908451
21	21	267,10	-0,01006	0,00646	-0,01652	0,000272837	-0,01006	0,06175	0,014040905	4,397872353	382	401	0,0035546	4,549655
22	22	274,40	0,026964	0,017151	0,009813	9,6294E-05	-0,00024	0,283539	0,049277225	5,753966148	402	421	0,0039431	3,17391
23	23	276,90	0,00907	0,017151	-0,00808	6,53072E-05	-0,00833	0,283539	0,049277225	5,753966148	422	441	0,0024745	4,778843
24	24	282,60	0,020376	0,017151	0,003225	1,0402E-05	-0,0051	0,283539	0,049277225	5,753966148	442	461	0,0133493	4,675202
25	25	287,90	0,018581	0,017151	0,00143	2,04462E-06	-0,00367	0,283539	0,049277225	5,753966148	462	481	-0,005077	5,75061
26	26	285,10	-0,00977	0,017151	-0,02692	0,000724903	-0,0306	0,283539	0,049277225	5,753966148	482	501	0,0046476	4,226077

Рисунок Б.4 – Фрагменти розрахунків показника R/S для $I_a = 20$

Продовження додатку Б

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
t	Mt	Nt	E(la)	Ni,a - E(la)	(Ni,a - E(la))^2	Xk,a	Ri,a	Si,a	RS(A)				
1	237,10	-	-	-	-	-	-	-	-	la	26	R/Sa	5,39751
2	236,70	-0,00169	0,007091	-0,00878	7,70738E-05	-0,00878	0,076708	0,014694311	5,220249663	2	27	0,0070907	5,22025
3	238,60	0,007995	0,007091	0,000904	8,1776E-07	-0,00787	0,076708	0,014694311	5,220249663	28	53	0,0050024	5,932238
4	238,30	-0,00126	0,007091	-0,00835	6,97028E-05	-0,01622	0,076708	0,014694311	5,220249663	54	79	0,013019	4,276978
5	240,10	0,007525	0,007091	0,000434	1,88727E-07	-0,01579	0,076708	0,014694311	5,220249663	80	105	-0,000897	4,326915
6	246,10	0,024682	0,007091	0,017592	0,00030947	0,001803	0,076708	0,014694311	5,220249663	106	131	-0,006286	4,371921
7	243,00	-0,01268	0,007091	-0,01977	0,000390742	-0,01796	0,076708	0,014694311	5,220249663	132	157	0,0030887	7,603901
8	242,60	-0,00165	0,007091	-0,00874	7,63551E-05	-0,0267	0,076708	0,014694311	5,220249663	158	183	0,0002714	3,660381
9	244,00	0,005754	0,007091	-0,00134	1,78614E-06	-0,02804	0,076708	0,014694311	5,220249663	184	209	0,0043431	7,05572
10	245,40	0,005721	0,007091	-0,00137	1,87522E-06	-0,02941	0,076708	0,014694311	5,220249663	210	235	-0,001538	3,871859
11	247,60	0,008925	0,007091	0,001834	3,36472E-06	-0,02757	0,076708	0,014694311	5,220249663	236	261	0,0207682	4,819878
12	245,40	-0,00893	0,007091	-0,01602	0,000256503	-0,04359	0,076708	0,014694311	5,220249663	262	287	-0,004874	5,553766
13	248,80	0,01376	0,007091	0,006669	4,44774E-05	-0,03692	0,076708	0,014694311	5,220249663	288	313	-0,004873	5,748374
14	252,30	0,013969	0,007091	0,006879	4,73179E-05	-0,03004	0,076708	0,014694311	5,220249663	314	339	-0,001023	5,950197
15	254,40	0,008289	0,007091	0,001198	1,43588E-06	-0,02884	0,076708	0,014694311	5,220249663	340	365	0,001917	7,828991
16	262,90	0,032866	0,007091	0,025775	0,000664361	-0,00307	0,076708	0,014694311	5,220249663	366	391	0,002808	4,10076
17	269,60	0,025166	0,007091	0,018075	0,000326704	0,015006	0,076708	0,014694311	5,220249663	392	417	0,0053665	4,658961
18	261,70	-0,02974	0,007091	-0,03683	0,001356542	-0,02182	0,076708	0,014694311	5,220249663	418	443	0,0013789	5,108618
19	263,80	0,007992	0,007091	0,000902	8,13132E-07	-0,02092	0,076708	0,014694311	5,220249663	444	469	0,0059289	7,826227
20	269,80	0,02249	0,007091	0,015399	0,00023713	-0,00552	0,076708	0,014694311	5,220249663	470	495	0,0044791	6,00742
21	267,10	-0,01006	0,007091	-0,01715	0,000294072	-0,02267	0,076708	0,014694311	5,220249663	496	521	0,0089794	4,975786
22	274,40	0,026964	0,007091	0,019873	0,000394939	-0,0028	0,076708	0,014694311	5,220249663	522	547	-0,008015	4,629377
23	276,90	0,00907	0,007091	0,001979	3,91582E-06	-0,00082	0,076708	0,014694311	5,220249663	548	573	0,0069483	4,768917
24	282,60	0,020376	0,007091	0,013285	0,0001765	0,012465	0,076708	0,014694311	5,220249663	574	599	0,0188979	5,224357
25	287,90	0,018581	0,007091	0,01149	0,000132021	0,023955	0,076708	0,014694311	5,220249663	600	625	0,0069221	5,101819
26	285,10	-0,00977	0,007091	-0,01686	0,000284391	0,007091	0,076708	0,014694311	5,220249663	626	651	-0,001908	3,953166

Рисунок Б.5 – Фрагменти розрахунків показника R/S для $I_a = 26$

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
t	Mt	Nt	E(la)	Ni,a - E(la)	(Ni,a - E(la))^2	Xk,a	Ri,a	Si,a	RS(A)				
1	237,10	-	-	-	-	-	-	-	-	la	28	R/Sa	5,724359
2	236,70	-0,00169	0,008818	-0,01051	0,000110383	-0,01051	0,095325	0,015301327	6,22987903	2	29	0,0088178	6,229879
3	238,60	0,007995	0,008818	-0,00082	6,77083E-07	-0,01133	0,095325	0,015301327	6,22987903	30	57	0,0027181	5,651121
4	238,30	-0,00126	0,008818	-0,01008	0,000101525	-0,02141	0,095325	0,015301327	6,22987903	58	85	0,0107402	5,280503
5	240,10	0,007525	0,008818	-0,00129	1,67114E-06	-0,0227	0,095325	0,015301327	6,22987903	86	113	-0,002318	4,847481
6	246,10	0,024682	0,008818	0,015865	0,000251686	-0,00683	0,095325	0,015301327	6,22987903	114	141	0,0002147	5,415995
7	243,00	-0,01268	0,008818	-0,02149	0,000462007	-0,02833	0,095325	0,015301327	6,22987903	142	169	-0,000103	5,96393
8	242,60	-0,00165	0,008818	-0,01047	0,000109522	-0,03879	0,095325	0,015301327	6,22987903	170	197	0,0006467	4,176269
9	244,00	0,005754	0,008818	-0,00306	9,38574E-06	-0,04186	0,095325	0,015301327	6,22987903	198	225	0,0023655	4,957407
10	245,40	0,005721	0,008818	-0,0031	9,58854E-06	-0,04495	0,095325	0,015301327	6,22987903	226	253	0,0088965	6,511897
11	247,60	0,008925	0,008818	0,000107	1,14843E-08	-0,04485	0,095325	0,015301327	6,22987903	254	281	0,0052646	5,758083
12	245,40	-0,00893	0,008818	-0,01774	0,000314809	-0,06259	0,095325	0,015301327	6,22987903	282	309	-0,006143	5,630025
13	248,80	0,01376	0,008818	0,004942	2,44232E-05	-0,05765	0,095325	0,015301327	6,22987903	310	337	0,0004698	4,432172
14	252,30	0,013969	0,008818	0,005152	2,65395E-05	-0,0525	0,095325	0,015301327	6,22987903	338	365	0,001867	6,401102
15	254,40	0,008289	0,008818	-0,00053	2,79701E-07	-0,05302	0,095325	0,015301327	6,22987903	366	393	0,003912	4,568607
16	262,90	0,032866	0,008818	0,024048	0,000578309	-0,02898	0,095325	0,015301327	6,22987903	394	421	0,0033524	3,803163
17	269,60	0,025166	0,008818	0,016348	0,000267251	0,01263	0,095325	0,015301327	6,22987903	422	449	0,0040116	6,41789
18	261,70	-0,02974	0,008818	-0,03856	0,001486751	-0,05119	0,095325	0,015301327	6,22987903	450	477	0,0017974	7,238919
19	263,80	0,007992	0,008818	-0,00083	6,81306E-07	-0,05201	0,095325	0,015301327	6,22987903	478	505	0,0051833	4,383643
20	269,80	0,02249	0,008818	0,013672	0,00018692	-0,03834	0,095325	0,015301327	6,22987903	506	533	0,0077748	6,179155
21	267,10	-0,01006	0,008818	-0,01888	0,000356291	-0,05722	0,095325	0,015301327	6,22987903	534	561	-0,001185	6,525506
22	274,40	0,026964	0,008818	0,018146	0,000329275	-0,03907	0,095325	0,015301327	6,22987903	562	589	0,0131516	9,211504
23	276,90	0,00907	0,008818	0,000252	6,33483E-08	-0,03882	0,095325	0,015301327	6,22987903	590	617	0,0153275	4,904433
24	282,60	0,020376	0,008818	0,011558	0,000133592	-0,02726	0,095325	0,015301327	6,22987903	618	645	-0,000854	4,891405
25	287,90	0,018581	0,008818	0,009763	9,53139E-05	-0,0175	0,095325	0,015301327	6,22987903	646	673	0,0012368	5,975878
26	285,10	-0,00977	0,008818	-0,01859	0,000345627	-0,03609	0,095325	0,015301327	6,22987903	674	701	0,0186264	6,857514

Рисунок Б.6 – Фрагменти розрахунків показника R/S для $I_a = 28$

Продовження додатку Б

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
t	Mt	Nt	E(la)	Ni,a - E(la)	(Ni,a - E(la))^2	Xk,a	Ri,a	Si,a	RS(A)	la	35	R/Sa	6,544339
1	237,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	237,10	-	-	-	-	-	-	-	-	2	36	0,0150066	7,032951
3	236,70	-0,00169	0,015007	-0,0167	0,000278725	-0,0167	0,209783	0,029828654	7,032951179	37	71	0,0010564	6,872696
4	238,60	0,007995	0,015007	-0,00701	4,91622E-05	-0,02371	0,209783	0,029828654	7,032951179	72	106	0,0010915	4,345163
5	238,30	-0,00126	0,015007	-0,01626	0,00026454	-0,03997	0,209783	0,029828654	7,032951179	107	141	-0,001016	4,395646
6	240,10	0,007525	0,015007	-0,00748	5,59721E-05	-0,04745	0,209783	0,029828654	7,032951179	142	176	-6,85E-06	6,400388
7	246,10	0,024682	0,015007	0,009676	9,36227E-05	-0,03778	0,209783	0,029828654	7,032951179	177	211	0,0019849	6,86218
8	243,00	-0,01268	0,015007	-0,02768	0,000766353	-0,06546	0,209783	0,029828654	7,032951179	212	246	0,0052624	7,32005
9	242,60	-0,00165	0,015007	-0,01665	0,000277356	-0,08211	0,209783	0,029828654	7,032951179	247	281	0,0064159	6,803158
10	244,00	0,005754	0,015007	-0,00925	8,56059E-05	-0,09137	0,209783	0,029828654	7,032951179	282	316	-0,003704	6,429156
11	245,40	0,005721	0,015007	-0,00929	8,62161E-05	-0,10065	0,209783	0,029828654	7,032951179	317	351	0,0008855	6,604101
12	247,60	0,008925	0,015007	-0,00608	3,69854E-05	-0,10673	0,209783	0,029828654	7,032951179	352	386	0,0009043	6,696914
13	245,40	-0,00893	0,015007	-0,02393	0,000572721	-0,13066	0,209783	0,029828654	7,032951179	387	421	0,0046813	4,842083
14	248,80	0,01376	0,015007	-0,00125	1,55437E-06	-0,13191	0,209783	0,029828654	7,032951179	422	456	0,007755	7,903416
15	252,30	0,013969	0,015007	-0,00104	1,07553E-06	-0,13295	0,209783	0,029828654	7,032951179	457	491	0,0002982	7,983291
16	254,40	0,008289	0,015007	-0,00672	4,51261E-05	-0,13967	0,209783	0,029828654	7,032951179	492	526	0,0044259	6,869685
17	262,90	0,032866	0,015007	0,017859	0,000318956	-0,12181	0,209783	0,029828654	7,032951179	527	561	0,0015867	6,917692
18	269,60	0,025166	0,015007	0,010159	0,000103207	-0,11165	0,209783	0,029828654	7,032951179	562	596	0,0113093	7,576412
19	261,70	-0,02974	0,015007	-0,04475	0,002002307	-0,15639	0,209783	0,029828654	7,032951179	597	631	0,0113261	5,430731
20	263,80	0,007992	0,015007	-0,00701	4,91982E-05	-0,16341	0,209783	0,029828654	7,032951179	632	666	-0,001292	6,73904
21	269,80	0,02249	0,015007	0,007483	5,59973E-05	-0,15593	0,209783	0,029828654	7,032951179	667	701	0,0166474	7,410126
22	267,10	-0,01006	0,015007	-0,02506	0,000628224	-0,18099	0,209783	0,029828654	7,032951179	702	736	-0,002366	6,892285
23	274,40	0,026964	0,015007	0,011957	0,000142975	-0,16903	0,209783	0,029828654	7,032951179	737	771	0,0162267	6,86007
24	276,90	0,00907	0,015007	-0,00594	3,52484E-05	-0,17497	0,209783	0,029828654	7,032951179	772	806	0,0223684	8,049671
25	282,60	0,020376	0,015007	0,005369	2,88312E-05	-0,1696	0,209783	0,029828654	7,032951179	807	841	-0,010718	5,5369
26	287,90	0,018581	0,015007	0,003574	1,27746E-05	-0,16603	0,209783	0,029828654	7,032951179	842	876	-0,001898	8,401799
27	285,10	-0,00977	0,015007	-0,02478	0,000614037	-0,19081	0,209783	0,029828654	7,032951179	-	-	-	-

Рисунок Б.7 – Фрагменти розрахунків показника R/S для $I_a = 35$

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
t	Mt	Nt	E(la)	Ni,a - E(la)	(Ni,a - E(la))^2	Xk,a	Ri,a	Si,a	RS(A)	la	52	R/Sa	8,097468
1	237,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	236,70	-0,00169	0,006047	-0,00774	5,98304E-05	-0,00774	0,351752	0,038725808	9,083147975	2	53	0,0060465	9,083148
3	238,60	0,007995	0,006047	0,001948	3,7965E-06	-0,00579	0,351752	0,038725808	9,083147975	54	105	0,006061	8,597185
4	238,30	-0,00126	0,006047	-0,0073	5,3358E-05	-0,01309	0,351752	0,038725808	9,083147975	106	157	-0,001599	7,295413
5	240,10	0,007525	0,006047	0,001479	2,18622E-06	-0,01161	0,351752	0,038725808	9,083147975	158	209	0,0023073	7,485273
6	246,10	0,024682	0,006047	0,018636	0,000347298	0,007023	0,351752	0,038725808	9,083147975	210	261	0,009615	10,73554
7	243,00	-0,01268	0,006047	-0,01872	0,000350552	-0,0117	0,351752	0,038725808	9,083147975	262	313	-0,004873	6,895115
8	242,60	-0,00165	0,006047	-0,00769	5,91973E-05	-0,01939	0,351752	0,038725808	9,083147975	314	365	0,0004472	7,859079
9	244,00	0,005754	0,006047	-0,00029	8,54414E-08	-0,01969	0,351752	0,038725808	9,083147975	366	417	0,0040872	5,743693
10	245,40	0,005721	0,006047	-0,00033	1,05772E-07	-0,02001	0,351752	0,038725808	9,083147975	418	469	0,0036539	10,40964
11	247,60	0,008925	0,006047	0,002878	8,28562E-06	-0,01713	0,351752	0,038725808	9,083147975	470	521	0,0067292	5,852967
12	245,40	-0,00893	0,006047	-0,01497	0,000224147	-0,0321	0,351752	0,038725808	9,083147975	522	573	-0,000533	8,198468
13	248,80	0,01376	0,006047	0,007713	5,94949E-05	-0,02439	0,351752	0,038725808	9,083147975	574	625	0,01291	6,694244
14	252,30	0,013969	0,006047	0,007923	6,27733E-05	-0,01647	0,351752	0,038725808	9,083147975	626	677	0,0053861	8,970803
15	254,40	0,008289	0,006047	0,002242	5,02855E-06	-0,01423	0,351752	0,038725808	9,083147975	678	729	0,0050939	9,49927
16	262,90	0,032866	0,006047	0,026819	0,000719278	0,012594	0,351752	0,038725808	9,083147975	730	781	0,0118017	8,092278
17	269,60	0,025166	0,006047	0,019119	0,000365541	0,031713	0,351752	0,038725808	9,083147975	782	833	0,0123366	9,031004
18	261,70	-0,02974	0,006047	-0,03579	0,001280717	-0,00407	0,351752	0,038725808	9,083147975	834	885	-0,005982	9,701726
19	263,80	0,007992	0,006047	0,001946	3,78652E-06	-0,00213	0,351752	0,038725808	9,083147975	886	937	-0,003657	9,58978
20	269,80	0,02249	0,006047	0,016443	0,000270378	0,014315	0,351752	0,038725808	9,083147975	938	989	-0,005727	6,738212
21	267,10	-0,01006	0,006047	-0,0161	0,00025935	-0,00179	0,351752	0,038725808	9,083147975	990	1041	0,0010691	10,07098
22	274,40	0,026964	0,006047	0,020917	0,000437531	0,019128	0,351752	0,038725808	9,083147975	1042	1093	-0,001594	8,163561
23	276,90	0,00907	0,006047	0,003023	9,13854E-06	0,022151	0,351752	0,038725808	9,083147975	1094	1145	-0,002697	6,83607
24	282,60	0,020376	0,006047	0,01433	0,000205335	0,03648	0,351752	0,038725808	9,083147975	1146	1197	-0,006685	7,755034
25	287,90	0,018581	0,006047	0,012534	0,000157106	0,049014	0,351752	0,038725808	9,083147975	1198	1249	-0,000736	7,734667
26	285,10	-0,00977	0,006047	-0,01582	0,000250264	0,033195	0,351752	0,038725808	9,083147975	1250	1301	0,0064564	7,626742

Рисунок Б.8 – Фрагменти розрахунків показника R/S для $I_a = 52$

Продовження додатку Б

▲	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	t	Mt	Nt	E(la)	Ni,a - E(la)	(Ni,a - E(la))^2	Xk,a	Ri,a	Si,a	RS(A)				
2	1	237,10	-	-	-	-	-	-	-	-	la	65	R/Sa	9,440413
3	2	236,70	-0,00169	0,006497	-0,00819	6,70091E-05	-0,00819	0,360352	0,037624351	9,577633118	2	66	0,0064974	9,577633
4	3	238,60	0,007995	0,006497	0,001498	2,24269E-06	-0,00669	0,360352	0,037624351	9,577633118	67	131	0,0006741	7,896032
5	4	238,30	-0,00126	0,006497	-0,00776	6,01487E-05	-0,01444	0,360352	0,037624351	9,577633118	132	196	0,0017962	10,10203
6	5	240,10	0,007525	0,006497	0,001028	1,05614E-06	-0,01342	0,360352	0,037624351	9,577633118	197	261	0,0089771	12,35663
7	6	246,10	0,024682	0,006497	0,018185	0,000330695	0,004769	0,360352	0,037624351	9,577633118	262	326	-0,004114	6,852213
8	7	243,00	-0,01268	0,006497	-0,01917	0,00036764	-0,01441	0,360352	0,037624351	9,577633118	327	391	0,001696	7,082395
9	8	242,60	-0,00165	0,006497	-0,00814	6,63391E-05	-0,02255	0,360352	0,037624351	9,577633118	392	456	0,0061818	11,04227
10	9	244,00	0,005754	0,006497	-0,00074	5,52353E-07	-0,02329	0,360352	0,037624351	9,577633118	457	521	0,0042712	10,63495
11	10	245,40	0,005721	0,006497	-0,00078	6,02372E-07	-0,02407	0,360352	0,037624351	9,577633118	522	586	0,0029485	12,06582
12	11	247,60	0,008925	0,006497	0,002428	5,89312E-06	-0,02164	0,360352	0,037624351	9,577633118	587	651	0,0061897	10,06943
13	12	245,40	-0,00893	0,006497	-0,01542	0,000237852	-0,03706	0,360352	0,037624351	9,577633118	652	716	0,0051248	11,6234
14	13	248,80	0,01376	0,006497	0,007262	5,27424E-05	-0,0298	0,360352	0,037624351	9,577633118	717	781	0,0134637	8,859422
15	14	252,30	0,013969	0,006497	0,007472	5,58317E-05	-0,02233	0,360352	0,037624351	9,577633118	782	846	0,0051362	11,00477
16	15	254,40	0,008289	0,006497	0,001792	3,20963E-06	-0,02054	0,360352	0,037624351	9,577633118	847	911	-0,004796	10,7471
17	16	262,90	0,032866	0,006497	0,026368	0,000695296	0,00583	0,360352	0,037624351	9,577633118	912	976	-0,000843	11,40737
18	17	269,60	0,025166	0,006497	0,018668	0,000348502	0,024498	0,360352	0,037624351	9,577633118	977	1041	-0,001065	11,25727
19	18	261,70	-0,02974	0,006497	-0,03624	0,013131393	-0,01174	0,360352	0,037624351	9,577633118	1042	1106	-0,000847	8,282016
20	19	263,80	0,007992	0,006497	0,001495	2,23502E-06	-0,01024	0,360352	0,037624351	9,577633118	1107	1171	-0,010711	10,16966
21	20	269,80	0,02249	0,006497	0,015992	0,000255753	0,005748	0,360352	0,037624351	9,577633118	1172	1236	0,0013391	7,763068
22	21	267,10	-0,01006	0,006497	-0,01656	0,000274077	-0,01081	0,360352	0,037624351	9,577633118	1237	1301	0,0060137	8,236608
23	22	274,40	0,026964	0,006497	0,020466	0,000418871	0,009659	0,360352	0,037624351	9,577633118	1302	1366	0,0137441	9,43104
24	23	276,90	0,00907	0,006497	0,002572	6,61571E-06	0,012231	0,360352	0,037624351	9,577633118	1367	1431	-0,004763	7,991636
25	24	282,60	0,020376	0,006497	0,013879	0,000192616	0,02611	0,360352	0,037624351	9,577633118	1432	1496	-0,000634	9,631078
26	25	287,90	0,018581	0,006497	0,012083	0,000146006	0,038193	0,360352	0,037624351	9,577633118	1497	1561	-0,001851	9,880448
27	26	285,10	-0,00977	0,006497	-0,01627	0,000264734	0,021922	0,360352	0,037624351	9,577633118	1562	1626	-0,008072	8,793398

Рисунок Б.9 – Фрагменти розрахунків показника R/S для I_a = 65

▲	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	t	Mt	Nt	E(la)	Ni,a - E(la)	(Ni,a - E(la))^2	Xk,a	Ri,a	Si,a	RS(A)				
2	1	237,10	-	-	-	-	-	-	-	-	la	70	R/Sa	9,713146
3	2	236,70	-0,00169	0,008031	-0,00972	9,44775E-05	-0,00972	0,391033	0,036515948	10,70855586	2	71	0,0080315	10,70856
4	3	238,60	0,007995	0,008031	-3,65E-05	1,33094E-09	-0,00976	0,391033	0,036515948	10,70855586	72	141	3,772E-05	7,177647
5	4	238,30	-0,00126	0,008031	-0,00929	8,62967E-05	-0,01905	0,391033	0,036515948	10,70855586	142	211	0,000989	8,318505
6	5	240,10	0,007525	0,008031	-0,000506	2,56397E-07	-0,01955	0,391033	0,036515948	10,70855586	212	281	0,0058392	11,09825
7	6	246,10	0,024682	0,008031	0,016651	0,000277255	-0,0029	0,391033	0,036515948	10,70855586	282	351	-0,001409	9,281893
8	7	243,00	-0,01268	0,008031	-0,020708	0,000428821	-0,02361	0,391033	0,036515948	10,70855586	352	421	0,0027928	7,39887
9	8	242,60	-0,00165	0,008031	-0,009679	9,36815E-05	-0,03329	0,391033	0,036515948	10,70855586	422	491	0,0040266	11,17917
10	9	244,00	0,005754	0,008031	-0,002277	5,18585E-06	-0,03557	0,391033	0,036515948	10,70855586	492	561	0,0030063	10,39175
11	10	245,40	0,005721	0,008031	-0,00231	5,33688E-06	-0,03788	0,391033	0,036515948	10,70855586	562	631	0,0113177	8,956619
12	11	247,60	0,008925	0,008031	0,000894	7,98402E-07	-0,03698	0,391033	0,036515948	10,70855586	632	701	0,0076776	11,68184
13	12	245,40	-0,00893	0,008031	-0,016956	0,000287522	-0,05394	0,391033	0,036515948	10,70855586	702	771	0,0069301	10,56373
14	13	248,80	0,01376	0,008031	0,005728	3,2814E-05	-0,04821	0,391033	0,036515948	10,70855586	772	841	0,0058252	14,45051
15	14	252,30	0,013969	0,008031	0,005938	3,52601E-05	-0,04227	0,391033	0,036515948	10,70855586	842	911	-0,004878	10,5785
16	15	254,40	0,008289	0,008031	0,000258	6,63065E-08	-0,04201	0,391033	0,036515948	10,70855586	912	981	-0,000538	11,50391
17	16	262,90	0,032866	0,008031	0,024834	0,000616749	-0,01718	0,391033	0,036515948	10,70855586	982	1051	-0,002892	12,34956
18	17	269,60	0,025166	0,008031	0,017134	0,00029358	-4,6E-05	0,391033	0,036515948	10,70855586	1052	1121	0,0006118	8,528419
19	18	261,70	-0,02974	0,008031	-0,037772	0,001426727	-0,03782	0,391033	0,036515948	10,70855586	1122	1191	-0,007461	10,50704
20	19	263,80	0,007992	0,008031	-3,9E-05	1,52447E-09	-0,03786	0,391033	0,036515948	10,70855586	1192	1261	-3,21E-05	7,798469
21	20	269,80	0,02249	0,008031	0,014458	0,00020904	-0,0234	0,391033	0,036515948	10,70855586	1262	1331	0,0097264	8,154219
22	21	267,10	-0,01006	0,008031	-0,018089	0,000327223	-0,04149	0,391033	0,036515948	10,70855586	1332	1401	0,0039702	9,458319
23	22	274,40	0,026964	0,008031	0,018932	0,000358432	-0,02256	0,391033	0,036515948	10,70855586	1402	1471	-0,002327	9,547991
24	23	276,90	0,00907	0,008031	0,001038	1,07757E-06	-0,02152	0,391033	0,036515948	10,70855586	1472	1541	-0,002333	7,910366
25	24	282,60	0,020376	0,008031	0,012345	0,000152388	-0,00917	0,391033	0,036515948	10,70855586	1542	1611	0,0027172	10,53979
26	25	287,90	0,018581	0,008031	0,010549	0,000111287	0,001376	0,391033	0,036515948	10,70855586	1612	1681	0,0005589	9,292441
27	26	285,10	-0,00977	0,008031	-0,017805	0,000317007	-0,01643	0,391033	0,036515948	10,70855586	1682	1751	7,365E-05	6,328849

Рисунок Б.10 – Фрагменти розрахунків показника R/S для I_a = 70

Продовження додатку Б

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	t	Mt	Nt	E(la)	Ni,a - E(la)	(Ni,a - E(la))^2	Xk,a	Ri,a	Si,a	RS(A)				
2	1	237,10	-	-	-	-	-	-	-	-	la	91	R/Sa	10,9148
3	2	236,70	-0,00169	0,006467	-0,00816	6,65188E-05	-0,00816	0,359752	0,035775614	10,05579311	2	92	0,0064674	10,05579
4	3	238,60	0,007995	0,006467	0,001528	2,33345E-06	-0,00663	0,359752	0,035775614	10,05579311	93	183	-0,000385	8,019034
5	4	238,30	-0,00126	0,006467	-0,00773	5,96842E-05	-0,01435	0,359752	0,035775614	10,05579311	184	274	0,0047691	13,87887
6	5	240,10	0,007525	0,006467	0,001058	1,11871E-06	-0,0133	0,359752	0,035775614	10,05579311	275	365	-0,000563	11,20194
7	6	246,10	0,024682	0,006467	0,018215	0,000331787	0,004919	0,359752	0,035775614	10,05579311	366	456	0,0052179	9,684944
8	7	243,00	-0,01268	0,006467	-0,01914	0,000366491	-0,01423	0,359752	0,035775614	10,05579311	457	547	0,0007609	10,76662
9	8	242,60	-0,00165	0,006467	-0,00811	6,58512E-05	-0,02234	0,359752	0,035775614	10,05579311	548	638	0,0099544	11,11344
10	9	244,00	0,005754	0,006467	-0,00071	5,08657E-07	-0,02305	0,359752	0,035775614	10,05579311	639	729	0,0053966	12,3548
11	10	245,40	0,005721	0,006467	-0,00075	5,567E-07	-0,0238	0,359752	0,035775614	10,05579311	730	820	0,0142578	13,13291
12	11	247,60	0,008925	0,006467	0,002458	6,03969E-06	-0,02134	0,359752	0,035775614	10,05579311	821	911	-0,007271	11,09076
13	12	245,40	-0,00893	0,006467	-0,01539	0,000236927	-0,03673	0,359752	0,035775614	10,05579311	912	1002	-0,002819	12,90837
14	13	248,80	0,01376	0,006467	0,007292	5,31791E-05	-0,02944	0,359752	0,035775614	10,05579311	1003	1093	0,0005454	11,33108
15	14	252,30	0,013969	0,006467	0,007502	5,6281E-05	-0,02194	0,359752	0,035775614	10,05579311	1094	1184	-0,005863	13,39208
16	15	254,40	0,008289	0,006467	0,001822	3,31803E-06	-0,02012	0,359752	0,035775614	10,05579311	1185	1275	0,0006959	7,584434
17	16	262,90	0,032866	0,006467	0,026398	0,000696879	0,00628	0,359752	0,035775614	10,05579311	1276	1366	0,0128921	10,53727
18	17	269,60	0,025166	0,006467	0,018698	0,000349623	0,024978	0,359752	0,035775614	10,05579311	1367	1457	-0,004811	9,349971
19	18	261,70	-0,02974	0,006467	-0,03621	0,001311019	-0,01123	0,359752	0,035775614	10,05579311	1458	1548	-0,001698	9,05227
20	19	263,80	0,007992	0,006467	0,001525	2,32563E-06	-0,0097	0,359752	0,035775614	10,05579311	1549	1639	-0,000863	11,45848
21	20	269,80	0,02249	0,006467	0,016022	0,000256713	0,006318	0,359752	0,035775614	10,05579311	1640	1730	0,0036404	11,06193
22	21	267,10	-0,01006	0,006467	-0,01653	0,000273084	-0,01021	0,359752	0,035775614	10,05579311	1731	1821	0,0010528	10,32094
23	22	274,40	0,026964	0,006467	0,020496	0,0004201	0,010289	0,359752	0,035775614	10,05579311	a1	a2	E(la)	R/S(A)
24	23	276,90	0,00907	0,006467	0,002602	6,77094E-06	0,012891	0,359752	0,035775614	10,05579311				
25	24	282,60	0,020376	0,006467	0,013909	0,000193449	0,0268	0,359752	0,035775614	10,05579311				
26	25	287,90	0,018581	0,006467	0,012113	0,000146732	0,038913	0,359752	0,035775614	10,05579311				
27	26	285,10	-0,00977	0,006467	-0,01624	0,000263758	0,022672	0,359752	0,035775614	10,05579311				

Рисунок Б.11 – Фрагменти розрахунків показника R/S для $I_a = 91$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	t	Mt	Nt	E(la)	Ni,a - E(la)	(Ni,a - E(la))^2	Xk,a	Ri,a	Si,a	RS(A)				
2	1	237,10	-	-	-	-	-	-	-	-	la	130	R/Sa	14,35393
3	2	236,70	-0,00169	0,003586	-0,005274	2,78175E-05	-0,00527	0,417439	0,035845908	11,64536394	2	131	0,0035858	11,64536
4	3	238,60	0,007995	0,003586	0,004409	1,94414E-05	-0,00086	0,417439	0,035845908	11,64536394	132	261	0,0053867	23,00621
5	4	238,30	-0,00126	0,003586	-0,004844	2,34631E-05	-0,00571	0,417439	0,035845908	11,64536394	262	391	-0,001209	12,17618
6	5	240,10	0,007525	0,003586	0,003939	1,55186E-05	-0,00177	0,417439	0,035845908	11,64536394	392	521	0,0052265	13,48856
7	6	246,10	0,024682	0,003586	0,021097	0,000445071	0,019327	0,417439	0,035845908	11,64536394	522	651	0,0045691	19,81102
8	7	243,00	-0,01268	0,003586	-0,016262	0,000264461	0,003065	0,417439	0,035845908	11,64536394	652	781	0,0092943	10,93019
9	8	242,60	-0,00165	0,003586	-0,005233	2,73864E-05	-0,00217	0,417439	0,035845908	11,64536394	782	911	0,0001701	15,94495
10	9	244,00	0,005754	0,003586	0,002168	4,7023E-06	2,25E-07	0,417439	0,035845908	11,64536394	912	1041	-0,000954	12,99258
11	10	245,40	0,005721	0,003586	0,002136	4,5606E-06	0,002136	0,417439	0,035845908	11,64536394	1042	1171	-0,0045779	18,35116
12	11	247,60	0,008925	0,003586	0,005339	2,85077E-05	0,007475	0,417439	0,035845908	11,64536394	1172	1301	0,0036764	12,78698
13	12	245,40	-0,00893	0,003586	-0,012511	0,000156519	-0,00504	0,417439	0,035845908	11,64536394	1302	1431	0,0044905	14,42123
14	13	248,80	0,01376	0,003586	0,010174	0,000103512	0,005138	0,417439	0,035845908	11,64536394	1432	1561	-0,001242	11,11654
15	14	252,30	0,013969	0,003586	0,010384	0,000107822	0,015522	0,417439	0,035845908	11,64536394	1562	1691	0,0010755	13,4272
16	15	254,40	0,008289	0,003586	0,004703	2,21203E-05	0,020225	0,417439	0,035845908	11,64536394	1692	1821	0,0006732	10,85688
17	16	262,90	0,032866	0,003586	0,02928	0,000857327	0,049505	0,417439	0,035845908	11,64536394	a1	a2	E(la)	R/S(A)
18	17	269,60	0,025166	0,003586	0,02158	0,000465692	0,071085	0,417439	0,035845908	11,64536394				
19	18	261,70	-0,02974	0,003586	-0,033326	0,001110644	0,037759	0,417439	0,035845908	11,64536394				
20	19	263,80	0,007992	0,003586	0,004407	1,94188E-05	0,042166	0,417439	0,035845908	11,64536394				
21	20	269,80	0,02249	0,003586	0,018904	0,000357359	0,06107	0,417439	0,035845908	11,64536394				
22	21	267,10	-0,01006	0,003586	-0,013644	0,000186147	0,047426	0,417439	0,035845908	11,64536394				
23	22	274,40	0,026964	0,003586	0,023378	0,000546532	0,070804	0,417439	0,035845908	11,64536394				
24	23	276,90	0,00907	0,003586	0,005484	3,00719E-05	0,076288	0,417439	0,035845908	11,64536394				
25	24	282,60	0,020376	0,003586	0,01679	0,000281914	0,093078	0,417439	0,035845908	11,64536394				
26	25	287,90	0,018581	0,003586	0,014995	0,000224849	0,108073	0,417439	0,035845908	11,64536394				
27	26	285,10	-0,00977	0,003586	-0,013359	0,000178462	0,094714	0,417439	0,035845908	11,64536394				

Рисунок Б.12 – Фрагменти розрахунків показника R/S для $I_a = 130$

Продовження додатку Б

▲	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	t	Mt	Nt	E(la)	Ni,a - E(la)	(Ni,a - E(la))^2	Xk,a	Ri,a	Si,a	RS(A)				
2	1	237,10	-	-	-	-	-	-	-	-	la	140	R/Sa	14,01858
3	2	236,70	-0,00169	0,004035	-0,005723	3,27536E-05	-0,00572	0,460528	0,03481342	13,22846659	2	141	0,0040346	13,22847
4	3	238,60	0,007995	0,004035	0,0039604	1,56847E-05	-0,00176	0,460528	0,03481342	13,22846659	142	281	0,0034141	16,82802
5	4	238,30	-0,00126	0,004035	-0,005293	2,80129E-05	-0,00706	0,460528	0,03481342	13,22846659	282	421	0,0006917	13,37361
6	5	240,10	0,007525	0,004035	0,0034905	1,21837E-05	-0,00356	0,460528	0,03481342	13,22846659	422	561	0,0035165	13,00212
7	6	246,10	0,024682	0,004035	0,0206479	0,000426334	0,017083	0,460528	0,03481342	13,22846659	562	701	0,0094976	17,32214
8	7	243,00	-0,01268	0,004035	-0,016711	0,000279261	0,000372	0,460528	0,03481342	13,22846659	702	841	0,0063777	20,05075
9	8	242,60	-0,00165	0,004035	-0,005682	3,22857E-05	-0,00531	0,460528	0,03481342	13,22846659	842	981	-0,002708	11,96988
10	9	244,00	0,005754	0,004035	0,0017196	2,95712E-06	-0,00359	0,460528	0,03481342	13,22846659	982	1121	-0,00114	13,10763
11	10	245,40	0,005721	0,004035	0,0016867	2,84498E-06	-0,0019	0,460528	0,03481342	13,22846659	1122	1261	-0,003747	16,0519
12	11	247,60	0,008925	0,004035	0,0048904	2,39161E-05	0,002987	0,460528	0,03481342	13,22846659	1262	1401	0,0068483	13,09016
13	12	245,40	-0,00893	0,004035	-0,01296	0,000167951	-0,00997	0,460528	0,03481342	13,22846659	1402	1541	-0,00233	9,800189
14	13	248,80	0,01376	0,004035	0,0097252	9,45801E-05	-0,00025	0,460528	0,03481342	13,22846659	1542	1681	0,001638	14,32242
15	14	252,30	0,013969	0,004035	0,0099349	9,87021E-05	0,009687	0,460528	0,03481342	13,22846659	1682	1821	0,0008009	10,0943
16	15	254,40	0,008289	0,004035	0,0042544	1,80997E-05	0,013941	0,460528	0,03481342	13,22846659	a1	a2	E(la)	R/S(A)
17	16	262,90	0,032866	0,004035	0,0288313	0,000831244	0,042773	0,460528	0,03481342	13,22846659				
18	17	269,60	0,025166	0,004035	0,021131	0,000446521	0,063904	0,460528	0,03481342	13,22846659				
19	18	261,70	-0,02974	0,004035	-0,033775	0,001140762	0,030129	0,460528	0,03481342	13,22846659				
20	19	263,80	0,007992	0,004035	0,0039578	1,56644E-05	0,034086	0,460528	0,03481342	13,22846659				
21	20	269,80	0,02249	0,004035	0,0184551	0,000340591	0,052542	0,460528	0,03481342	13,22846659				
22	21	267,10	-0,01006	0,004035	-0,014092	0,000198596	0,038449	0,460528	0,03481342	13,22846659				
23	22	274,40	0,026964	0,004035	0,0229292	0,000525747	0,061378	0,460528	0,03481342	13,22846659				
24	23	276,90	0,00907	0,004035	0,0050349	2,53506E-05	0,066413	0,460528	0,03481342	13,22846659				
25	24	282,60	0,020376	0,004035	0,0163414	0,000267043	0,082755	0,460528	0,03481342	13,22846659				
26	25	287,90	0,018581	0,004035	0,0145461	0,00021159	0,097301	0,460528	0,03481342	13,22846659				
27	26	285,10	-0,00977	0,004035	-0,013808	0,000190655	0,083493	0,460528	0,03481342	13,22846659				

Рисунок Б.13 – Фрагменти розрахунків показника R/S для $I_a = 140$

▲	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	t	Mt	Nt	E(la)	Ni,a - E(la)	(Ni,a - E(la))^2	Xk,a	Ri,a	Si,a	RS(A)				
2	1	237,10	-	-	-	-	-	-	-	-	la	182	R/Sa	16,37012
3	2	236,70	-0,00169	0,003041	-0,00473	2,23705E-05	-0,00473	0,445015	0,031428674	14,15952188	2	183	0,0030413	14,15952
4	3	238,60	0,007995	0,003041	0,004954	2,45393E-05	0,000224	0,445015	0,031428674	14,15952188	184	365	0,002103	17,24744
5	4	238,30	-0,00126	0,003041	-0,004299	1,84848E-05	-0,00408	0,445015	0,031428674	14,15952188	366	547	0,0029894	13,13239
6	5	240,10	0,007525	0,003041	0,004484	2,01049E-05	0,000408	0,445015	0,031428674	14,15952188	548	729	0,0076755	15,03735
7	6	246,10	0,024682	0,003041	0,021641	0,000468341	0,02205	0,445015	0,031428674	14,15952188	730	911	0,0034934	22,83407
8	7	243,00	-0,01268	0,003041	-0,015718	0,000247049	0,006332	0,445015	0,031428674	14,15952188	912	1093	-0,001137	13,53328
9	8	242,60	-0,00165	0,003041	-0,004689	2,19841E-05	0,001643	0,445015	0,031428674	14,15952188	1094	1275	-0,002584	19,1132
10	9	244,00	0,005754	0,003041	0,002713	7,36013E-06	0,004356	0,445015	0,031428674	14,15952188	1276	1457	0,0040407	20,06293
11	10	245,40	0,005721	0,003041	0,00268	7,18258E-06	0,007036	0,445015	0,031428674	14,15952188	1458	1639	-0,001281	14,3577
12	11	247,60	0,008925	0,003041	0,005884	3,46183E-05	0,01292	0,445015	0,031428674	14,15952188	1640	1821	0,0023466	14,22335
13	12	245,40	-0,00893	0,003041	-0,011966	0,000143192	0,000954	0,445015	0,031428674	14,15952188	a1	a2	E(la)	R/S(A)
14	13	248,80	0,01376	0,003041	0,010719	0,000114887	0,011672	0,445015	0,031428674	14,15952188				
15	14	252,30	0,013969	0,003041	0,010928	0,000119426	0,0226	0,445015	0,031428674	14,15952188				
16	15	254,40	0,008289	0,003041	0,005248	2,75384E-05	0,027848	0,445015	0,031428674	14,15952188				
17	16	262,90	0,032866	0,003041	0,029825	0,000889508	0,057673	0,445015	0,031428674	14,15952188				
18	17	269,60	0,025166	0,003041	0,022124	0,000489488	0,079797	0,445015	0,031428674	14,15952188				
19	18	261,70	-0,02974	0,003041	-0,032782	0,001074649	0,047015	0,445015	0,031428674	14,15952188				
20	19	263,80	0,007992	0,003041	0,004951	2,4514E-05	0,051966	0,445015	0,031428674	14,15952188				
21	20	269,80	0,02249	0,003041	0,019448	0,000378241	0,071415	0,445015	0,031428674	14,15952188				
22	21	267,10	-0,01006	0,003041	-0,013099	0,000171586	0,058316	0,445015	0,031428674	14,15952188				
23	22	274,40	0,026964	0,003041	0,023923	0,000572286	0,082238	0,445015	0,031428674	14,15952188				
24	23	276,90	0,00907	0,003041	0,006028	3,63399E-05	0,088266	0,445015	0,031428674	14,15952188				
25	24	282,60	0,020376	0,003041	0,017335	0,000300494	0,105601	0,445015	0,031428674	14,15952188				
26	25	287,90	0,018581	0,003041	0,015539	0,000241475	0,121141	0,445015	0,031428674	14,15952188				
27	26	285,10	-0,00977	0,003041	-0,012814	0,000164211	0,108326	0,445015	0,031428674	14,15952188				

Рисунок Б.14 – Фрагменти розрахунків показника R/S для $I_a = 182$

Продовження додатку Б

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	t	Mt	Nt	E(la)	N _{i,a} - E(la)	(N _{i,a} - E(la)) ²	X _{k,a}	R _{i,a}	S _{i,a}	RS(A)				
2	1	237,10	-	-	-	-	-	-	-	-	la	260	R/Sa	20,63464
3	2	236,70	-0,00169	0,004486	-0,006175	3,81267E-05	-0,00617	0,805088	0,029660288	27,14364863	2	261	0,0044862	27,14365
4	3	238,60	0,007995	0,004486	0,0035088	1,23116E-05	-0,00267	0,805088	0,029660288	27,14364863	262	521	0,0020088	16,66192
5	4	238,30	-0,00126	0,004486	-0,005744	3,29974E-05	-0,00841	0,805088	0,029660288	27,14364863	522	781	0,0069317	14,55695
6	5	240,10	0,007525	0,004486	0,0030389	9,23498E-06	-0,00537	0,805088	0,029660288	27,14364863	782	1041	-0,000392	21,24546
7	6	246,10	0,024682	0,004486	0,0201962	0,000407888	0,014825	0,805088	0,029660288	27,14364863	1042	1301	-0,001051	22,6703
8	7	243,00	-0,01268	0,004486	-0,017163	0,000294559	-0,00234	0,805088	0,029660288	27,14364863	1302	1561	0,001624	24,73741
9	8	242,60	-0,00165	0,004486	-0,006134	3,76217E-05	-0,00847	0,805088	0,029660288	27,14364863	1562	1821	0,0008743	17,42678
10	9	244,00	0,005754	0,004486	0,001268	1,60788E-06	-0,0072	0,805088	0,029660288	27,14364863	a1	a2	E(la)	R/S(A)
11	10	245,40	0,005721	0,004486	0,0012351	1,52547E-06	-0,00597	0,805088	0,029660288	27,14364863				
12	11	247,60	0,008925	0,004486	0,0044388	1,97029E-05	-0,00153	0,805088	0,029660288	27,14364863				
13	12	245,40	-0,00893	0,004486	-0,013411	0,000179861	-0,01494	0,805088	0,029660288	27,14364863				
14	13	248,80	0,01376	0,004486	0,0092736	8,6E-05	-0,00567	0,805088	0,029660288	27,14364863				
15	14	252,30	0,013969	0,004486	0,0094833	8,99327E-05	0,003816	0,805088	0,029660288	27,14364863				
16	15	254,40	0,008289	0,004486	0,0038028	1,4461E-05	0,007619	0,805088	0,029660288	27,14364863				
17	16	262,90	0,032866	0,004486	0,0283797	0,000805407	0,035999	0,805088	0,029660288	27,14364863				
18	17	269,60	0,025166	0,004486	0,0206794	0,000427639	0,056678	0,805088	0,029660288	27,14364863				
19	18	261,70	-0,02974	0,004486	-0,034227	0,001171472	0,022451	0,805088	0,029660288	27,14364863				
20	19	263,80	0,007992	0,004486	0,0035062	1,22936E-05	0,025957	0,805088	0,029660288	27,14364863				
21	20	269,80	0,02249	0,004486	0,0180035	0,000324126	0,043961	0,805088	0,029660288	27,14364863				
22	21	267,10	-0,01006	0,004486	-0,014544	0,000211529	0,029417	0,805088	0,029660288	27,14364863				
23	22	274,40	0,026964	0,004486	0,0224776	0,000505241	0,051895	0,805088	0,029660288	27,14364863				
24	23	276,90	0,00907	0,004486	0,0045833	2,10069E-05	0,056478	0,805088	0,029660288	27,14364863				
25	24	282,60	0,020376	0,004486	0,0158898	0,000252487	0,072368	0,805088	0,029660288	27,14364863				
26	25	287,90	0,018581	0,004486	0,0140945	0,000198655	0,086462	0,805088	0,029660288	27,14364863				
27	26	285,10	-0,00977	0,004486	-0,014259	0,000203331	0,072203	0,805088	0,029660288	27,14364863				

Рисунок Б.15 – Фрагменти розрахунків показника R/S для I_a = 260

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	t	Mt	Nt	E(la)	N _{i,a} - E(la)	(N _{i,a} - E(la)) ²	X _{k,a}	R _{i,a}	S _{i,a}	RS(A)				
2	1	237,10	-	-	-	-	-	-	-	-	la	364	R/Sa	24,03559
3	2	236,70	-0,00169	0,002572	-0,004261	1,81527E-05	-0,00426	0,51473	0,030181115	17,05471649	2	365	0,0025721	17,05472
4	3	238,60	0,007995	0,002572	0,0054229	2,94076E-05	0,001162	0,51473	0,030181115	17,05471649	366	729	0,0053324	19,59236
5	4	238,30	-0,00126	0,002572	-0,00383	1,46708E-05	-0,00267	0,51473	0,030181115	17,05471649	730	1093	0,0011783	30,05064
6	5	240,10	0,007525	0,002572	0,004953	2,45322E-05	0,002285	0,51473	0,030181115	17,05471649	1094	1457	0,0007286	33,20953
7	6	246,10	0,024682	0,002572	0,0221103	0,000488867	0,024395	0,51473	0,030181115	17,05471649	1458	1821	0,0005328	20,27073
8	7	243,00	-0,01268	0,002572	-0,015249	0,000232521	0,009147	0,51473	0,030181115	17,05471649	a1	a2	E(la)	R/S(A)
9	8	242,60	-0,00165	0,002572	-0,00422	1,78047E-05	0,004927	0,51473	0,030181115	17,05471649				
10	9	244,00	0,005754	0,002572	0,0031821	1,01258E-05	0,008109	0,51473	0,030181115	17,05471649				
11	10	245,40	0,005721	0,002572	0,0031492	9,9174E-06	0,011258	0,51473	0,030181115	17,05471649				
12	11	247,60	0,008925	0,002572	0,0063529	4,03592E-05	0,017611	0,51473	0,030181115	17,05471649				
13	12	245,40	-0,00893	0,002572	-0,011497	0,000132184	0,006114	0,51473	0,030181115	17,05471649				
14	13	248,80	0,01376	0,002572	0,0111877	0,000125165	0,017302	0,51473	0,030181115	17,05471649				
15	14	252,30	0,013969	0,002572	0,0113974	0,0001299	0,028699	0,51473	0,030181115	17,05471649				
16	15	254,40	0,008289	0,002572	0,0057169	3,26825E-05	0,034416	0,51473	0,030181115	17,05471649				
17	16	262,90	0,032866	0,002572	0,0302938	0,000917713	0,06471	0,51473	0,030181115	17,05471649				
18	17	269,60	0,025166	0,002572	0,0225935	0,000510468	0,087304	0,51473	0,030181115	17,05471649				
19	18	261,70	-0,02974	0,002572	-0,032313	0,00104411	0,054991	0,51473	0,030181115	17,05471649				
20	19	263,80	0,007992	0,002572	0,0054203	2,93798E-05	0,060411	0,51473	0,030181115	17,05471649				
21	20	269,80	0,02249	0,002572	0,0199176	0,00039671	0,080329	0,51473	0,030181115	17,05471649				
22	21	267,10	-0,01006	0,002572	-0,01263	0,000159515	0,067699	0,51473	0,030181115	17,05471649				
23	22	274,40	0,026964	0,002572	0,0243917	0,000594953	0,09209	0,51473	0,030181115	17,05471649				
24	23	276,90	0,00907	0,002572	0,0064974	4,22164E-05	0,098588	0,51473	0,030181115	17,05471649				
25	24	282,60	0,020376	0,002572	0,0178039	0,00031698	0,116392	0,51473	0,030181115	17,05471649				
26	25	287,90	0,018581	0,002572	0,0160086	0,000256276	0,1324	0,51473	0,030181115	17,05471649				
27	26	285,10	-0,00977	0,002572	-0,012345	0,000152407	0,120055	0,51473	0,030181115	17,05471649				

Рисунок Б.16 – Фрагменти розрахунків показника R/S для I_a = 364

Продовження додатку Б

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	t	Mt	Nt	E(la)	Ni,a - E(la)	(Ni,a - E(la))^2	Xk,a	Ri,a	Si,a	RS(A)				
2	1	237,10	-	-	-	-	-	-	-	-				
3	2	236,70	-0,00169	0,003101	-0,00479	2,29417E-05	-0,00479	0,65524	0,028166203	23,26333651	la	455	R/Sa	30,24789
4	3	238,60	0,007995	0,003101	0,004894	2,39485E-05	0,000104	0,65524	0,028166203	23,26333651	2	456	0,0031013	23,26334
5	4	238,30	-0,00126	0,003101	-0,00436	1,90044E-05	-0,00426	0,65524	0,028166203	23,26333651	457	911	0,0046197	34,57624
6	5	240,10	0,007525	0,003101	0,004424	1,95704E-05	0,000168	0,65524	0,028166203	23,26333651	912	1366	0,0010902	38,95969
7	6	246,10	0,024682	0,003101	0,021581	0,000465747	0,02175	0,65524	0,028166203	23,26333651	1367	1821	-0,000536	24,19228
8	7	243,00	-0,01268	0,003101	-0,01578	0,000248939	0,005972	0,65524	0,028166203	23,26333651	a1	a2	E(la)	R/S(A)
9	8	242,60	-0,00165	0,003101	-0,00475	2,25503E-05	0,001223	0,65524	0,028166203	23,26333651				
10	9	244,00	0,005754	0,003101	0,002653	7,03817E-06	0,003876	0,65524	0,028166203	23,26333651				
11	10	245,40	0,005721	0,003101	0,00262	6,86457E-06	0,006496	0,65524	0,028166203	23,26333651				
12	11	247,60	0,008925	0,003101	0,005824	3,39159E-05	0,01232	0,65524	0,028166203	23,26333651				
13	12	245,40	-0,00893	0,003101	-0,01203	0,000144631	0,000294	0,65524	0,028166203	23,26333651				
14	13	248,80	0,01376	0,003101	0,010659	0,000113605	0,010952	0,65524	0,028166203	23,26333651				
15	14	252,30	0,013969	0,003101	0,010868	0,000118118	0,02182	0,65524	0,028166203	23,26333651				
16	15	254,40	0,008289	0,003101	0,005188	2,69123E-05	0,027008	0,65524	0,028166203	23,26333651				
17	16	262,90	0,032866	0,003101	0,029765	0,000885933	0,056773	0,65524	0,028166203	23,26333651				
18	17	269,60	0,025166	0,003101	0,022064	0,000486837	0,078837	0,65524	0,028166203	23,26333651				
19	18	261,70	-0,02974	0,003101	-0,03284	0,001078587	0,045995	0,65524	0,028166203	23,26333651				
20	19	263,80	0,007992	0,003101	0,004891	2,39234E-05	0,050886	0,65524	0,028166203	23,26333651				
21	20	269,80	0,02249	0,003101	0,019388	0,000375911	0,070275	0,65524	0,028166203	23,26333651				
22	21	267,10	-0,01006	0,003101	-0,01316	0,000173162	0,057116	0,65524	0,028166203	23,26333651				
23	22	274,40	0,026964	0,003101	0,023863	0,000569419	0,080978	0,65524	0,028166203	23,26333651				
24	23	276,90	0,00907	0,003101	0,005968	3,56201E-05	0,086946	0,65524	0,028166203	23,26333651				
25	24	282,60	0,020376	0,003101	0,017275	0,000298418	0,104221	0,65524	0,028166203	23,26333651				
26	25	287,90	0,018581	0,003101	0,015479	0,000239613	0,119701	0,65524	0,028166203	23,26333651				
27	26	285,10	-0,00977	0,003101	-0,01287	0,000165752	0,106826	0,65524	0,028166203	23,26333651				

Рисунок Б.17 – Фрагменти розрахунків показника R/S для $I_a = 455$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	t	Mt	Nt	E(la)	Ni,a - E(la)	(Ni,a - E(la))^2	Xk,a	Ri,a	Si,a	RS(A)				
2	1	237,10	-	-	-	-	-	-	-	-				
3	2	236,70	-0,00169	0,003861	-0,00555	3,07912E-05	-0,00555	1,993899	0,041722828	47,78916336	la	910	R/Sa	41,22022
4	3	238,60	0,007995	0,003861	0,004134	1,7094E-05	-0,00141	1,993899	0,041722828	47,78916336	2	911	0,0038605	47,78916
5	4	238,30	-0,00126	0,003861	-0,00512	2,62004E-05	-0,00653	1,993899	0,041722828	47,78916336	a1	a2	E(la)	R/S(A)
6	5	240,10	0,007525	0,003861	0,003665	1,34294E-05	-0,00287	1,993899	0,041722828	47,78916336				
7	6	246,10	0,024682	0,003861	0,020822	0,000433553	0,017953	1,993899	0,041722828	47,78916336				
8	7	243,00	-0,01268	0,003861	-0,01654	0,000273473	0,001416	1,993899	0,041722828	47,78916336				
9	8	242,60	-0,00165	0,003861	-0,00551	3,03376E-05	-0,00409	1,993899	0,041722828	47,78916336				
10	9	244,00	0,005754	0,003861	0,001894	3,58618E-06	-0,0022	1,993899	0,041722828	47,78916336				
11	10	245,40	0,005721	0,003861	0,001861	3,46258E-06	-0,00034	1,993899	0,041722828	47,78916336				
12	11	247,60	0,008925	0,003861	0,005065	2,56492E-05	0,004727	1,993899	0,041722828	47,78916336				
13	12	245,40	-0,00893	0,003861	-0,01279	0,000163469	-0,00806	1,993899	0,041722828	47,78916336				
14	13	248,80	0,01376	0,003861	0,009899	9,79966E-05	0,001841	1,993899	0,041722828	47,78916336				
15	14	252,30	0,013969	0,003861	0,010109	0,000102192	0,01195	1,993899	0,041722828	47,78916336				
16	15	254,40	0,008289	0,003861	0,004428	1,96113E-05	0,016379	1,993899	0,041722828	47,78916336				
17	16	262,90	0,032866	0,003861	0,029005	0,000841313	0,045384	1,993899	0,041722828	47,78916336				
18	17	269,60	0,025166	0,003861	0,021305	0,000453909	0,066689	1,993899	0,041722828	47,78916336				
19	18	261,70	-0,02974	0,003861	-0,0336	0,001129032	0,033088	1,993899	0,041722828	47,78916336				
20	19	263,80	0,007992	0,003861	0,004132	1,70728E-05	0,03722	1,993899	0,041722828	47,78916336				
21	20	269,80	0,02249	0,003861	0,018629	0,000347047	0,055849	1,993899	0,041722828	47,78916336				
22	21	267,10	-0,01006	0,003861	-0,01392	0,00019372	0,041931	1,993899	0,041722828	47,78916336				
23	22	274,40	0,026964	0,003861	0,023103	0,000533761	0,065034	1,993899	0,041722828	47,78916336				
24	23	276,90	0,00907	0,003861	0,005209	2,7134E-05	0,070243	1,993899	0,041722828	47,78916336				
25	24	282,60	0,020376	0,003861	0,016516	0,000272763	0,086759	1,993899	0,041722828	47,78916336				
26	25	287,90	0,018581	0,003861	0,01472	0,000216685	0,101479	1,993899	0,041722828	47,78916336				
27	26	285,10	-0,00977	0,003861	-0,01363	0,000185878	0,087845	1,993899	0,041722828	47,78916336				

Рисунок Б.18 – Фрагменти розрахунків показника R/S для $I_a = 910$

Додаток В
(інформаційний)

Формули розрахунків R/S-аналізу в MS Excel

	A	B	C	D	E	F	G
1	t	Mt	Nt	E(la)	N _{i,a} - E(la)	(N _{i,a} - E(la)) ²	X _{k,a}
2	1	237,1	-	-	-	-	-
3	2	236,7	=LN(B3/B2)	=ВПР(A3;\$K\$3:\$M\$184;3;ИСТИНА)	=C3-D3	=E3^2	=E3
4	3	238,6	=LN(B4/B3)	=ВПР(A4;\$K\$3:\$M\$184;3;ИСТИНА)	=C4-D4	=E4^2	=СУММ(\$E\$3:E4)
5	4	238,3	=LN(B5/B4)	=ВПР(A5;\$K\$3:\$M\$184;3;ИСТИНА)	=C5-D5	=E5^2	=СУММ(\$E\$3:E5)
6	5	240,1	=LN(B6/B5)	=ВПР(A6;\$K\$3:\$M\$184;3;ИСТИНА)	=C6-D6	=E6^2	=СУММ(\$E\$3:E6)
7	6	246,1	=LN(B7/B6)	=ВПР(A7;\$K\$3:\$M\$184;3;ИСТИНА)	=C7-D7	=E7^2	=СУММ(\$E\$3:E7)
8	7	243	=LN(B8/B7)	=ВПР(A8;\$K\$3:\$M\$184;3;ИСТИНА)	=C8-D8	=E8^2	=СУММ(\$E\$3:E8)
9	8	242,6	=LN(B9/B8)	=ВПР(A9;\$K\$3:\$M\$184;3;ИСТИНА)	=C9-D9	=E9^2	=СУММ(\$E\$3:E9)
10	9	244	=LN(B10/B9)	=ВПР(A10;\$K\$3:\$M\$184;3;ИСТИНА)	=C10-D10	=E10^2	=СУММ(\$E\$3:E10)
11	10	245,4	=LN(B11/B10)	=ВПР(A11;\$K\$3:\$M\$184;3;ИСТИНА)	=C11-D11	=E11^2	=СУММ(\$E\$3:E11)
12	11	247,6	=LN(B12/B11)	=ВПР(A12;\$K\$3:\$M\$184;3;ИСТИНА)	=C12-D12	=E12^2	=СУММ(\$E\$3:E12)
13	12	245,4	=LN(B13/B12)	=ВПР(A13;\$K\$3:\$M\$184;3;ИСТИНА)	=C13-D13	=E13^2	=СУММ(\$E\$3:E13)
14	13	248,8	=LN(B14/B13)	=ВПР(A14;\$K\$3:\$M\$184;3;ИСТИНА)	=C14-D14	=E14^2	=СУММ(\$E\$3:E14)
15	14	252,3	=LN(B15/B14)	=ВПР(A15;\$K\$3:\$M\$184;3;ИСТИНА)	=C15-D15	=E15^2	=СУММ(\$E\$3:E15)
16	15	254,4	=LN(B16/B15)	=ВПР(A16;\$K\$3:\$M\$184;3;ИСТИНА)	=C16-D16	=E16^2	=СУММ(\$E\$3:E16)
17	16	262,9	=LN(B17/B16)	=ВПР(A17;\$K\$3:\$M\$184;3;ИСТИНА)	=C17-D17	=E17^2	=СУММ(\$E\$3:E17)
18	17	269,6	=LN(B18/B17)	=ВПР(A18;\$K\$3:\$M\$184;3;ИСТИНА)	=C18-D18	=E18^2	=СУММ(\$E\$3:E18)
19	18	261,7	=LN(B19/B18)	=ВПР(A19;\$K\$3:\$M\$184;3;ИСТИНА)	=C19-D19	=E19^2	=СУММ(\$E\$3:E19)
20	19	263,8	=LN(B20/B19)	=ВПР(A20;\$K\$3:\$M\$184;3;ИСТИНА)	=C20-D20	=E20^2	=СУММ(\$E\$3:E20)
21	20	269,8	=LN(B21/B20)	=ВПР(A21;\$K\$3:\$M\$184;3;ИСТИНА)	=C21-D21	=E21^2	=СУММ(\$E\$3:E21)
22	21	267,1	=LN(B22/B21)	=ВПР(A22;\$K\$3:\$M\$184;3;ИСТИНА)	=C22-D22	=E22^2	=СУММ(\$E\$3:E22)
23	22	274,4	=LN(B23/B22)	=ВПР(A23;\$K\$3:\$M\$184;3;ИСТИНА)	=C23-D23	=E23^2	=СУММ(\$E\$3:E23)
24	23	276,9	=LN(B24/B23)	=ВПР(A24;\$K\$3:\$M\$184;3;ИСТИНА)	=C24-D24	=E24^2	=СУММ(\$E\$3:E24)
25	24	282,6	=LN(B25/B24)	=ВПР(A25;\$K\$3:\$M\$184;3;ИСТИНА)	=C25-D25	=E25^2	=СУММ(\$E\$3:E25)
26	25	287,9	=LN(B26/B25)	=ВПР(A26;\$K\$3:\$M\$184;3;ИСТИНА)	=C26-D26	=E26^2	=СУММ(\$E\$3:E26)
27	26	285,1	=LN(B27/B26)	=ВПР(A27;\$K\$3:\$M\$184;3;ИСТИНА)	=C27-D27	=E27^2	=СУММ(\$E\$3:E27)

Рисунок В.1 – Функції MS Excel, які використані для проведення R/S-аналізу

Продовження додатку В

	Н	І	Ж
1	R _{i,a}	S _{i,a}	RS(A)
2	-	-	-
3	=МАКС(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D3;\$G\$3:\$G\$1822))-МИН(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D3;\$G\$3:\$G\$1822))	=КОРЕНЬ(СУММЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822;D3;\$F\$3:\$F\$1822)/(\$L\$2+1))	=H3/I3
4	=МАКС(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D4;\$G\$3:\$G\$1822))-МИН(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D4;\$G\$3:\$G\$1822))	=КОРЕНЬ(СУММЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822;D4;\$F\$3:\$F\$1822)/(\$L\$2+1))	=H4/I4
5	=МАКС(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D5;\$G\$3:\$G\$1822))-МИН(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D5;\$G\$3:\$G\$1822))	=КОРЕНЬ(СУММЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822;D5;\$F\$3:\$F\$1822)/(\$L\$2+1))	=H5/I5
6	=МАКС(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D6;\$G\$3:\$G\$1822))-МИН(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D6;\$G\$3:\$G\$1822))	=КОРЕНЬ(СУММЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822;D6;\$F\$3:\$F\$1822)/(\$L\$2+1))	=H6/I6
7	=МАКС(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D7;\$G\$3:\$G\$1822))-МИН(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D7;\$G\$3:\$G\$1822))	=КОРЕНЬ(СУММЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822;D7;\$F\$3:\$F\$1822)/(\$L\$2+1))	=H7/I7
8	=МАКС(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D8;\$G\$3:\$G\$1822))-МИН(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D8;\$G\$3:\$G\$1822))	=КОРЕНЬ(СУММЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822;D8;\$F\$3:\$F\$1822)/(\$L\$2+1))	=H8/I8
9	=МАКС(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D9;\$G\$3:\$G\$1822))-МИН(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D9;\$G\$3:\$G\$1822))	=КОРЕНЬ(СУММЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822;D9;\$F\$3:\$F\$1822)/(\$L\$2+1))	=H9/I9
10	=МАКС(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D10;\$G\$3:\$G\$1822))-МИН(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D10;\$G\$3:\$G\$1822))	=КОРЕНЬ(СУММЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822;D10;\$F\$3:\$F\$1822)/(\$L\$2+1))	=H10/I10
11	=МАКС(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D11;\$G\$3:\$G\$1822))-МИН(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D11;\$G\$3:\$G\$1822))	=КОРЕНЬ(СУММЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822;D11;\$F\$3:\$F\$1822)/(\$L\$2+1))	=H11/I11
12	=МАКС(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D12;\$G\$3:\$G\$1822))-МИН(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D12;\$G\$3:\$G\$1822))	=КОРЕНЬ(СУММЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822;D12;\$F\$3:\$F\$1822)/(\$L\$2+1))	=H12/I12
13	=МАКС(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D13;\$G\$3:\$G\$1822))-МИН(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D13;\$G\$3:\$G\$1822))	=КОРЕНЬ(СУММЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822;D13;\$F\$3:\$F\$1822)/(\$L\$2+1))	=H13/I13
14	=МАКС(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D14;\$G\$3:\$G\$1822))-МИН(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D14;\$G\$3:\$G\$1822))	=КОРЕНЬ(СУММЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822;D14;\$F\$3:\$F\$1822)/(\$L\$2+1))	=H14/I14
15	=МАКС(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D15;\$G\$3:\$G\$1822))-МИН(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D15;\$G\$3:\$G\$1822))	=КОРЕНЬ(СУММЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822;D15;\$F\$3:\$F\$1822)/(\$L\$2+1))	=H15/I15
16	=МАКС(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D16;\$G\$3:\$G\$1822))-МИН(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D16;\$G\$3:\$G\$1822))	=КОРЕНЬ(СУММЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822;D16;\$F\$3:\$F\$1822)/(\$L\$2+1))	=H16/I16
17	=МАКС(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D17;\$G\$3:\$G\$1822))-МИН(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D17;\$G\$3:\$G\$1822))	=КОРЕНЬ(СУММЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822;D17;\$F\$3:\$F\$1822)/(\$L\$2+1))	=H17/I17
18	=МАКС(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D18;\$G\$3:\$G\$1822))-МИН(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D18;\$G\$3:\$G\$1822))	=КОРЕНЬ(СУММЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822;D18;\$F\$3:\$F\$1822)/(\$L\$2+1))	=H18/I18
19	=МАКС(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D19;\$G\$3:\$G\$1822))-МИН(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D19;\$G\$3:\$G\$1822))	=КОРЕНЬ(СУММЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822;D19;\$F\$3:\$F\$1822)/(\$L\$2+1))	=H19/I19
20	=МАКС(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D20;\$G\$3:\$G\$1822))-МИН(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D20;\$G\$3:\$G\$1822))	=КОРЕНЬ(СУММЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822;D20;\$F\$3:\$F\$1822)/(\$L\$2+1))	=H20/I20
21	=МАКС(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D21;\$G\$3:\$G\$1822))-МИН(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D21;\$G\$3:\$G\$1822))	=КОРЕНЬ(СУММЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822;D21;\$F\$3:\$F\$1822)/(\$L\$2+1))	=H21/I21
22	=МАКС(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D22;\$G\$3:\$G\$1822))-МИН(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D22;\$G\$3:\$G\$1822))	=КОРЕНЬ(СУММЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822;D22;\$F\$3:\$F\$1822)/(\$L\$2+1))	=H22/I22
23	=МАКС(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D23;\$G\$3:\$G\$1822))-МИН(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D23;\$G\$3:\$G\$1822))	=КОРЕНЬ(СУММЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822;D23;\$F\$3:\$F\$1822)/(\$L\$2+1))	=H23/I23
24	=МАКС(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D24;\$G\$3:\$G\$1822))-МИН(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D24;\$G\$3:\$G\$1822))	=КОРЕНЬ(СУММЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822;D24;\$F\$3:\$F\$1822)/(\$L\$2+1))	=H24/I24
25	=МАКС(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D25;\$G\$3:\$G\$1822))-МИН(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D25;\$G\$3:\$G\$1822))	=КОРЕНЬ(СУММЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822;D25;\$F\$3:\$F\$1822)/(\$L\$2+1))	=H25/I25
26	=МАКС(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D26;\$G\$3:\$G\$1822))-МИН(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D26;\$G\$3:\$G\$1822))	=КОРЕНЬ(СУММЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822;D26;\$F\$3:\$F\$1822)/(\$L\$2+1))	=H26/I26
27	=МАКС(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D27;\$G\$3:\$G\$1822))-МИН(ЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822=D27;\$G\$3:\$G\$1822))	=КОРЕНЬ(СУММЕСЛИ(\$D\$3:\$D\$1822;D27;\$F\$3:\$F\$1822)/(\$L\$2+1))	=H27/I27

Рисунок В.2 – Функції MS Excel, які використані для проведення R/S-аналізу (продовження)

K	L	M	N
1a	910	R/Sa	=CP3HAЧ(N3;N4)
2	=1+\$L\$2	=СУММ(ДВССЫЛ(АДРЕС(K3;3));ДВССЫЛ(АДРЕС(L3;3)))/(L3-K3+1)	=ВПР(M3;\$D\$3:\$J\$1822;7;ЛОЖЬ)
	=L3+1	=СУММ(ДВССЫЛ(АДРЕС(K4;3));ДВССЫЛ(АДРЕС(L4;3)))/(L4-K4+1)	=ВПР(M4;\$D\$3:\$J\$1822;7;ЛОЖЬ)
a1	a2	E(1a)	R/S(A)

Рисунок В.3 – Функції MS Excel, які використані для проведення R/S-аналізу (продовження)

Додаток Г (інформаційний)

Формули розрахунків тесту Фостера-Стюарта в MS Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1													
2	Дата	Показник		k	l	k+l	k-l						
3	01.10.2015	237,10							c	135		трабл.	1,961
4	02.10.2015	236,70		0	1	1	-1		d	133			
5	03.10.2015	238,60		1	0	1	1						
6	04.10.2015	238,30		0	0	0	0		tc	35,4914		дисп1	3,404519373
7	05.10.2015	240,10		1	0	1	1		td	35,3335		дисп2	3,764130997
8	06.10.2015	246,10		1	0	1	1						
9	07.10.2015	243,00		0	0	0	0						
10	08.10.2015	242,60		0	0	0	0						
11	09.10.2015	244,00		0	0	0	0						
12	10.10.2015	245,40		0	0	0	0						
13	11.10.2015	247,60		1	0	1	1						
14	12.10.2015	245,40		0	0	0	0						
15	13.10.2015	248,80		1	0	1	1						
16	14.10.2015	252,30		1	0	1	1						
17	15.10.2015	254,40		1	0	1	1						
18	16.10.2015	262,90		1	0	1	1						
19	17.10.2015	269,60		1	0	1	1						
20	18.10.2015	261,70		0	0	0	0						
21	19.10.2015	263,80		0	0	0	0						
22	20.10.2015	269,80		1	0	1	1						
23	21.10.2015	267,10		0	0	0	0						
24	22.10.2015	274,40		1	0	1	1						
25	23.10.2015	276,90		1	0	1	1						
26	24.10.2015	282,60		1	0	1	1						
27	25.10.2015	287,90		1	0	1	1						
28	26.10.2015	285,10		0	0	0	0						
29	27.10.2015	294,70		1	0	1	1						
30	28.10.2015	303,50		1	0	1	1						
31	29.10.2015	313,60		1	0	1	1						
32	30.10.2015	327,10		1	0	1	1						
33	31.10.2015	311,20		0	0	0	0						
34	01.11.2015	323,00		0	0	0	0						

Рисунок Г.1 – Функції MS Excel, які використані для проведення тесту Фостера-Стюарта

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1													
2	Дата	Показник		k	l	k+l	k-l						
3	42278	237,1							c	=СУММ(F4:F1823)		трабл.	=СТЮДРАСПОБР(0,05;1819)
4	42279	236,7		=ЕСЛИ(B4>B3;1;0)	=ЕСЛИ(B4<B3;1;0)	=D4+E4	=D4-E4		d	=СУММ(G4:G1823)			
5	42280	238,6		=ЕСЛИ(B5>МАКС(\$B\$3:B4);1;0)	=ЕСЛИ(B5<МИН(\$B\$3:B4);1;0)	=D5+E5	=D5-E5						
6	42281	238,3		=ЕСЛИ(B6>МАКС(\$B\$3:B5);1;0)	=ЕСЛИ(B6<МИН(\$B\$3:B5);1;0)	=D6+E6	=D6-E6		tc	=ABS(J3-M7^2)/M6		дисп1	=КОРЕНЬ(2*LN(1821)-3,42353)
7	42282	240,1		=ЕСЛИ(B7>МАКС(\$B\$3:B6);1;0)	=ЕСЛИ(B7<МИН(\$B\$3:B6);1;0)	=D7+E7	=D7-E7		td	=ABS(J4-0)/M7		дисп2	=КОРЕНЬ(2*LN(1821)-0,8456)
8	42283	246,1		=ЕСЛИ(B8>МАКС(\$B\$3:B7);1;0)	=ЕСЛИ(B8<МИН(\$B\$3:B7);1;0)	=D8+E8	=D8-E8						
9	42284	243		=ЕСЛИ(B9>МАКС(\$B\$3:B8);1;0)	=ЕСЛИ(B9<МИН(\$B\$3:B8);1;0)	=D9+E9	=D9-E9						
10	42285	242,6		=ЕСЛИ(B10>МАКС(\$B\$3:B9);1;0)	=ЕСЛИ(B10<МИН(\$B\$3:B9);1;0)	=D10+E10	=D10-E10						
11	42286	244		=ЕСЛИ(B11>МАКС(\$B\$3:B10);1;0)	=ЕСЛИ(B11<МИН(\$B\$3:B10);1;0)	=D11+E11	=D11-E11						
12	42287	245,4		=ЕСЛИ(B12>МАКС(\$B\$3:B11);1;0)	=ЕСЛИ(B12<МИН(\$B\$3:B11);1;0)	=D12+E12	=D12-E12						
13	42288	247,6		=ЕСЛИ(B13>МАКС(\$B\$3:B12);1;0)	=ЕСЛИ(B13<МИН(\$B\$3:B12);1;0)	=D13+E13	=D13-E13						
14	42289	245,4		=ЕСЛИ(B14>МАКС(\$B\$3:B13);1;0)	=ЕСЛИ(B14<МИН(\$B\$3:B13);1;0)	=D14+E14	=D14-E14						
15	42290	248,8		=ЕСЛИ(B15>МАКС(\$B\$3:B14);1;0)	=ЕСЛИ(B15<МИН(\$B\$3:B14);1;0)	=D15+E15	=D15-E15						
16	42291	252,3		=ЕСЛИ(B16>МАКС(\$B\$3:B15);1;0)	=ЕСЛИ(B16<МИН(\$B\$3:B15);1;0)	=D16+E16	=D16-E16						
17	42292	254,4		=ЕСЛИ(B17>МАКС(\$B\$3:B16);1;0)	=ЕСЛИ(B17<МИН(\$B\$3:B16);1;0)	=D17+E17	=D17-E17						
18	42293	262,9		=ЕСЛИ(B18>МАКС(\$B\$3:B17);1;0)	=ЕСЛИ(B18<МИН(\$B\$3:B17);1;0)	=D18+E18	=D18-E18						
19	42294	269,6		=ЕСЛИ(B19>МАКС(\$B\$3:B18);1;0)	=ЕСЛИ(B19<МИН(\$B\$3:B18);1;0)	=D19+E19	=D19-E19						
20	42295	261,7		=ЕСЛИ(B20>МАКС(\$B\$3:B19);1;0)	=ЕСЛИ(B20<МИН(\$B\$3:B19);1;0)	=D20+E20	=D20-E20						
21	42296	263,8		=ЕСЛИ(B21>МАКС(\$B\$3:B20);1;0)	=ЕСЛИ(B21<МИН(\$B\$3:B20);1;0)	=D21+E21	=D21-E21						
22	42297	269,8		=ЕСЛИ(B22>МАКС(\$B\$3:B21);1;0)	=ЕСЛИ(B22<МИН(\$B\$3:B21);1;0)	=D22+E22	=D22-E22						
23	42298	267,1		=ЕСЛИ(B23>МАКС(\$B\$3:B22);1;0)	=ЕСЛИ(B23<МИН(\$B\$3:B22);1;0)	=D23+E23	=D23-E23						
24	42299	274,4		=ЕСЛИ(B24>МАКС(\$B\$3:B23);1;0)	=ЕСЛИ(B24<МИН(\$B\$3:B23);1;0)	=D24+E24	=D24-E24						
25	42300	276,9		=ЕСЛИ(B25>МАКС(\$B\$3:B24);1;0)	=ЕСЛИ(B25<МИН(\$B\$3:B24);1;0)	=D25+E25	=D25-E25						
26	42301	282,6		=ЕСЛИ(B26>МАКС(\$B\$3:B25);1;0)	=ЕСЛИ(B26<МИН(\$B\$3:B25);1;0)	=D26+E26	=D26-E26						
27	42302	287,9		=ЕСЛИ(B27>МАКС(\$B\$3:B26);1;0)	=ЕСЛИ(B27<МИН(\$B\$3:B26);1;0)	=D27+E27	=D27-E27						
28	42303	285,1		=ЕСЛИ(B28>МАКС(\$B\$3:B27);1;0)	=ЕСЛИ(B28<МИН(\$B\$3:B27);1;0)	=D28+E28	=D28-E28						
29	42304	294,7		=ЕСЛИ(B29>МАКС(\$B\$3:B28);1;0)	=ЕСЛИ(B29<МИН(\$B\$3:B28);1;0)	=D29+E29	=D29-E29						
30	42305	303,5		=ЕСЛИ(B30>МАКС(\$B\$3:B29);1;0)	=ЕСЛИ(B30<МИН(\$B\$3:B29);1;0)	=D30+E30	=D30-E30						
31	42306	313,6		=ЕСЛИ(B31>МАКС(\$B\$3:B30);1;0)	=ЕСЛИ(B31<МИН(\$B\$3:B30);1;0)	=D31+E31	=D31-E31						
32	42307	327,1		=ЕСЛИ(B32>МАКС(\$B\$3:B31);1;0)	=ЕСЛИ(B32<МИН(\$B\$3:B31);1;0)	=D32+E32	=D32-E32						
33	42308	311,2		=ЕСЛИ(B33>МАКС(\$B\$3:B32);1;0)	=ЕСЛИ(B33<МИН(\$B\$3:B32);1;0)	=D33+E33	=D33-E33						
34	42309	323		=ЕСЛИ(B34>МАКС(\$B\$3:B33);1;0)	=ЕСЛИ(B34<МИН(\$B\$3:B33);1;0)	=D34+E34	=D34-E34						
35	42310	359,3		=ЕСЛИ(B35>МАКС(\$B\$3:B34);1;0)	=ЕСЛИ(B35<МИН(\$B\$3:B34);1;0)	=D35+E35	=D35-E35						

Рисунок Г.2 – Функції MS Excel, які використані для проведення тесту Фостера-Стюарта (продовження)