

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВАДИМА ГЕТЬМАНА**

**Навчально-науковий інститут
«Інститут інформаційних технологій в економіці»**

Кафедра математичного моделювання та статистики

Освітньо-професійна програма «Економічна кібернетика»

**Галузь знань 05 «Соціальні та поведінкові науки»
Спеціальність 051 «Економіка»**

Форма навчання: очна (денна)

КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

на тему **«Прогнозування цін на нерухомість в сучасних реаліях України»**
(назва теми)

здобувача Урадовського Антона Андрійовича
(ПІБ)

(підпис)

Науковий керівник: доктор економічних наук,
професор **Юрій КОЛЯДА**

(підпис)

**Робота допущена до захисту перед екзаменаційною комісією
з атестації здобувачів вищої освіти (ЕК)**

Завідувач кафедри: кандидат фізико-математичних наук,
професор **Галина ВЕЛИКОІВАНЕНКО**

(підпис)

Київ 2025

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ТА МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ПРОГНОЗУВАННЯ ЦІН НА НЕРУХОМІСТЬ	6
1.1 Економічні та правові основи функціонування ринку нерухомості	6
1.2 Основні тенденції на ринку нерухомості у сучасних реаліях України	13
1.3 Методи і моделі прогнозування цін на ринку нерухомості.....	18
РОЗДІЛ 2 ПРОГНОЗУВАННЯ ЦІН НА НЕРУХОМІСТЬ В СУЧАСНИХ РЕАЛІЯХ.....	26
2.1 Аналіз динаміки цін на ринку нерухомості України у період з 01.01.2016-01.01.2025 рр.....	26
2.2 Прогнозування цін на основі моделей часових рядів	32
2.3 Моделювання впливу макроекономічних факторів на ціну.....	47
ВИСНОВКИ	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	57
ДОДАТКИ.....	61

ВСТУП

Нерухомість – важливий елемент для населення та не менш важлива частина економіки для всього світу. З того, як формується вартість житла в країні, можна визначити її рівень життя, інвестицій та загальної стабільності. Станом на сьогодні, наявність воєнного стану та бойових дій на території України сильно змінили тенденції на ринку нерухомості, спричинивши невизначеність. Зміни вплинули як на ціноутворення, так і на регіональну структуру ринків. З огляду на це, необхідно отримати розуміння подальшого вектора розвитку ринку нерухомості в Україні. Тому в роботі досліджено та враховано фактори, які мають вплив на ринок, прогнозовано медіанну ціну на квадратний метр нерухомості залежно від місця розташування, а також досліджуються математичні методи, які можуть бути ефективними для цієї задачі.

Дослідження, пов'язані із прогнозуванням цін на нерухомість відбувались і в минулі періоди, однак станом на сьогодні їх значущість зросла за умов, коли ринок зазнає сильного впливу з боку як внутрішніх, так і зовнішніх чинників. За таких обставин, необхідно розуміти, яких значень набуватимуть ціни на житло залежно від регіонального розташування. Актуальність зумовлена потребою в інформації для можливих рішень з боку інвесторів, забудовників та державних органів у сфері економічного планування та містобудування.

З проведеного аналізу останніх досліджень та публікацій було визначено, що питання дослідження цін на ринку нерухомості досліджувалось низкою авторів: І. Білецький та Г. Дорошенко [1], які провели змістовний аналіз основний аналіз поточного стану та тенденцій на ринку нерухомості України. О. Добровольська та Н. Фененко [2] дослідили вплив війни в Україні на ринок нерухомості за допомогою класичного методу Брауна-Маєра, підкресливши потребу врахування більшої кількості макроекономічних факторів для кращих результатів прогнозування. У свою чергу В. Якубовський, К. Жук та М. Анкудович [3] здійснили статистичний аналіз ролі основних визначальних факторів у формуванні вартості на основі лінійної та нелінійної регресії. А. Шмигель та Н. Шульга [4]

використовують факторний аналіз для визначення основних макроекономічних показників за 2003-2023 рр., а також побудували регресійну модель для дослідження впливу на ціну житла. У своїй статті Л. Бондаренко і Я. Ляшенко [5] розглядають можливість застосування часових рядів для прогнозування ціноутворення на ринку нерухомості в найбільш активних ділових, аналізуючи їх структуру та зміни. Серед іноземних джерел варто відзначити роботу Ф. Анвара, Р. Джеянті [6] в якій вони демонструють використання SARIMA та VAR моделей для прогнозування ціни на житло в умовах іншої країни, зі своїми особливостями. Попри використання даних, що не пов'язані із ринком нерухомості України, робота демонструє якісний приклад застосування методів прогнозування часових рядів для ринків нерухомості.

З результатів аналізу наведених та інших авторів було визначено, що питання прогнозування та дослідження динаміки цін в умовах сучасних реалій України не є достатньо дослідженим у наукових працях, і має потенціал для перевірки застосування інших методів.

Метою бакалаврської роботи є розроблення математичних моделей прогнозування цін на ринку нерухомості України з метою визначення їх подальших тенденцій змін. Щоб досягнути поставленої мети було вирішено наступні завдання:

- здійснити аналіз економічних та правових основ функціонування ринку нерухомості;
- проаналізувати основні тенденції на ринку нерухомості та фактори що нього впливають;
- дослідити методи і моделі прогнозування ціни на ринку нерухомості;
- провести огляд динаміки цін в ключових містах за період з 01.01.2016 по 01.01.2025 рр;
- створити, перевірити на точність та побудувати прогноз на основі найбільш точної моделі прогнозування часових рядів динаміки цін на ринку нерухомості;
- побудувати модель для перевірки значущості впливу макроекономічних змінних та оцінити її точність.

Об'єктом дослідження виступає ринок житлової нерухомості у великих містах України.

Предметом дослідження є математичні методи та моделі прогнозування цін на ринку нерухомості.

Для дослідження використано такі методи: табличний та графічний методи (для обґрунтування результатів аналізу та ілюстрації змін), описово-аналітичний метод (для пояснення причинно-наслідкових зв'язків між явищами, обґрунтування вибору моделей прогнозування та інтерпретації результатів), метод логічного узагальнення, методи економіко-математичного моделювання (а саме, Ridge-регресію, експоненціальне згладжування (ETS), сезонне авторегресійне інтегроване ковзне середнє (SARIMA) з метою прогнозування медіанної ціни в великих містах України).

Теоретична та практична значущість кваліфікаційно бакалаврської роботи полягає в порівнянні класичних підходів до моделювання, визначенні їх доцільності використання при складній нелінійній поведінці ринку. Надання розуміння того як зазначені методи виконують поставлену задачу та підґрунтя для подальших досліджень із вдосконаленням або використанням інших сучасних підходів прогнозування цін на нерухомість в умовах економічної нестабільності.

Інформаційною базою дослідження є Закони України та постанови кабінету міністрів, праці вітчизняних та закордонних науковців і практиків, наукові публікації та статті, статистичні дані офіційних джерел та галузевих інформаційних ресурсів, а також дослідження інтернет-видавництв.

Робота складається зі вступу, двох розділів, списку використаних джерел та додатків.

Виконання роботи було проведено в середовищі R Studio мовою програмування R.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ТА МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ПРОГНОЗУВАННЯ ЦІН НА НЕРУХОМІСТЬ

1.1 Економічні та правові основи функціонування ринку нерухомості

Нерухомість – це невіддільний елемент нашого життя. Це поняття залучено на багатьох рівнях, починаючи від соціальної ланки, закінчуючи економічними системами. Для нас, в повсякденному житті вона може виступати в ролі приватних будинків, багатоквартирної житлової забудови, офісних будівель тощо. Отже, поняття можна розглядати як земельну ділянку на якій розташовано нерухоме майно. Згідно з Цивільним кодексом, до нерухомих речей (нерухоме майно, нерухомість) належать земельні ділянки, а також об'єкти, розташовані на земельній ділянці, переміщення яких є неможливим без їх знецінення та зміни їх призначення [7].

«Земельна ділянка – це частина земної поверхні з установленими межами, певним місцем розташування, з визначеними щодо неї правами»[8]. Цивільний кодекс також відносить кожен ділянку за своїм призначенням. Таким чином існують такі категорії земель [7]:

- а) землі сільськогосподарського призначення;
- б) землі житлової та громадської забудови;
- в) землі природно-заповідного та іншого природоохоронного призначення;
- г) землі оздоровчого призначення;
- г) землі рекреаційного призначення;
- д) землі історико-культурного призначення;
- е) землі лісгосподарського призначення;
- є) землі водного фонду;

ж) землі промисловості, транспорту, електронних комунікацій, енергетики, оборони та іншого призначення.

Наведений перелік означає, що під забудову відноситься окрема категорія «землі житлової та громадської забудови». «До земель житлової та громадської забудови належать земельні ділянки, які використовуються для розміщення житлової забудови, громадських будівель і споруд, інших об'єктів загального користування.»[8]. Житлова нерухомість – це будівлі, які призначені для проживання в них людей. Нежитлові приміщення не належать до житлового фонду, оскільки не призначені для постійного проживання осіб. До таких приміщень відносять офісні приміщення, склади, виробничі об'єкти, навчальні заклади, лікарні та адміністративні будівлі.

З погляду на ринок як на економічну категорію, ринок – це сукупність відносин, що виникають у сфері обігу у зв'язку з купівлею-продажем товарів та послуг, а також з обміном і розподілом ресурсів між учасниками ринку. Ринок нерухомості, у свою чергу – це система економічних відносин, що формуються у процесі здійснення операцій з наявними об'єктами нерухомості, їх створення, розвитку, купівлі-продажу, іпотеки та оренди [9]. Він є сегментом національного ринку та частиною товарного ринку поєднуючи в собі характеристики як ринку споживчих товарів і послуг, так і ринку інвестиційних активів.

Ринок нерухомості охоплює кілька основних напрямів функціонування і може розглядатися як [10]:

- 1) інвестиційний сегмент нерухомості;
- 2) економічний товар до складу якого входить такий не відновлюваний елемент, як земля;
- 3) фактор галузевого розвитку, який є ключовим у формуванні структури регіонів.

Важливим є і розгляд структури ринку. На рисунку (рис. 1.1) наведено які класифікацію за способом використання. На основі поділу, ринок нерухомості поділяється на ринок споживчої нерухомості та дохідної (прибуткової) нерухомості [11]. Споживча нерухомість пов'язана із задоволення основних потреб

населення, тоді як дохідна нерухомість, об'єкти, що застосовуються з метою залучення в економічний оборот маючи на меті отримання прибутку.

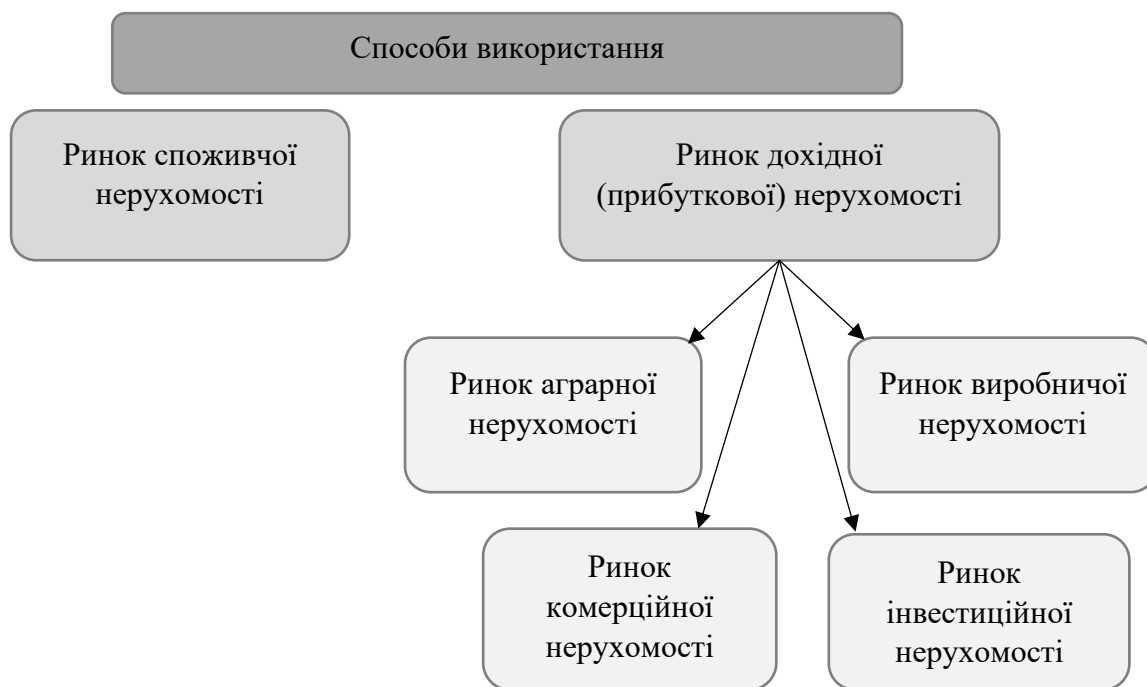


Рисунок 1.1 – Подання способів використання ринку нерухомості

Джерело: розроблено автором на основі [11]

Вище зазначені операції напряму впливають на економічний зріст та соціальний розвиток країни. Тісний зв'язок з іншими галузями виникає через те, що будівельна галузь створює нові об'єкти на ринку та вносить зміни у вже наявні об'єкти, тоді як інші сектори економіки мають потребу у приміщеннях для свого функціонування та ефективної діяльності.

Процеси, що відбуваються на ринку поділяються на три сектори. Перший сектор – сектор розвитку або створення об'єктів, який охоплює весь цикл реалізації нових об'єктів починаючи від проектування, фінансування, отримання дозволів до безпосереднього будівництва та введення в експлуатацію. Другий сектор – сектор управління, тут відбуваються процеси, які пов'язані із використанням нерухомості після побудови – обслуговування, ремонт та утримання. Також, в цьому секторі проходить аналіз факторів, які впливають на дохід від об'єкта, після чого формується запит на створення найбільш дохідних та перспективних об'єктів

нерухомості. Третім є сектор обігу прав на об'єкти нерухомості де продаж або оренда, формує ринкову ціну на об'єкти нерухомості [9].

Суб'єктами ринку нерухомості є покупці (орендарі), продавці (орендодавці) та професійні учасники [9]. Покупцями є інвестори, вони вкладають власні кошти і є головними суб'єктами ринку. Ними може бути фізична і юридична особа, а також органи державного управління, які мають право на дану операцію за законом. Саме для покупців і працює вся структура ринку нерухомості. Продавці, це власники – фізична або юридична особа, що має право власності на об'єкт який вона продає.

На ринку нерухомості представлені суб'єкти, які звуться професійними учасниками. На рисунку (рис. 1.2) наведено поділ учасників згідно їх ролей.

Інституціональні учасники	Не інституціональні учасники
- Державні та регіональні органи, що займаються інвентаризацією землі, створенням земельного кадастру, зонуванням територій, оформленням землевідведення - Державні і регіональні органи архітектури та містобудування - Органи, що займаються затвердженням й узгодженням архітектурних і будівельних проектів, - Органи, що проводять інвентаризацію та облік будівель; - Органи технічної, пожежної інспекції	- Брокери - Оцінювачі - Фінансисти(банкіри) - Девелопери - Редевелопери - Проектувальники і будівельники - Юристи - Страховики - Аналітики - Фінансові аналітики - Маркетологи та інші учасники

Рисунок 1.2 – Подання поділу професійних учасників ринку нерухомості

Джерело: розроблено автором на основі [9]

Основними нормативно-правовими актами, що регулюють цей ринок є :

- Конституція України;
- Цивільний кодекс;
- Земельний кодекс;
- Закон України «Про державну реєстрацію речових прав на нерухоме майно та їх обтяжень»;
- Закон України «Про оренду землі» ;
- Закон України «Про регулювання містобудівної діяльності».

Зазначені акти визначають основні положення щодо прав власності на нерухомість, регулюють їх купівлю, продаж та надання в оренду. На їх основі, можна сформувати напрямки, за якими здійснюється регулювання ринку нерухомості. Одним з основних є впровадження законодавчих та нормативних актів, що регулюють роботу ринку. Здійснюється контроль виконання заданих в цих актах умов. Крім того, відводиться відповідальність за порушення прописаних згідно з законом вимог. Прикладом може слугувати відповідальність за порушення закону України «Про регулювання містобудівної діяльності», коли за незаконне будівництво або порушення будівельних стандартів скасовується дозвіл на будівництво, виписується штраф або виконується знесення об'єкта [12]. Іншим напрямом є нагляд, націлений на забезпечення прозорості перебігу операцій на ринку, ведення обліку права на власність задля уникнення випадків шахрайства і фінансових махінацій.

Держава також здійснює контроль за процесами створення, переходу або припинення права власності на нерухоме майно. Державна реєстрація речових прав на нерухоме майно та їх обтяжень – це офіційне визнання і підтвердження державою фактів набуття, зміни або припинення речових прав на нерухоме майно, а також обтяжень таких прав шляхом внесення відповідних відомостей до Державного реєстру речових прав на нерухоме майно [13]. Усі зміни які пов'язані із цим процесами повинні здійснюватися виключно в документально завірених формі.

У Державному реєстрі прав реєструються речові права та їх обтяження на [13]:

- земельні ділянки,
- об'єкти нерухомого майна, розташовані на земельній ділянці, переміщення яких неможливе без їх знецінення та зміни призначення, а саме:
 - 1) житлові будинки;
 - 2) будівлі, споруди, а також їх окремі частини;
 - 3) квартири;
 - 4) житлові та нежитлові приміщення;
 - 5) меліоративні мережі, складові частини меліоративної мережі.

У Державному реєстрі прав також реєструються передбачені законом речові права та їх обтяження на об'єкти незавершеного будівництва та майбутні об'єкти нерухомості [13]. Ці дії неможливі без суб'єктів що безпосередньо виконують реєстрацію прав: Виконавчих органів місцевих рад, державних адміністрацій, державних реєстраторів прав на нерухомість, нотаріусів.

З погляду на зазначену інформацію щодо основних нормативно – правових актів, можна прийти до висновку що держава має тісний зв'язок із регулюванням ринку нерухомості. Окрім цього вона чинить вплив як на саму нерухомість, так і на осіб що беруть участь у цих процесах.

Розглядаючи питання регулювання ринку, варто визначити його основні сектори та їх взаємозв'язок. Ринок нерухомості поділяється на первинний та вторинний. Первинний ринок являє собою об'єкт, який побудовано забудовником нещодавно та здано в експлуатацію. Він є новим і ще не мав власника фізичної особи. В перелік підпадають нові житлові будинки, приватні будинки, приміщення для здійснення комерційної діяльності. Купуючи нерухомість на первинному ринку фізична особа укладає договір на купівлю із забудовником або інвестором. Особливістю такого ринку можна визначити придбання нової нерухомості із певним ризиком, але за меншою вартістю в певний проміжок часу. Адже продаж стартує ще на стадії будівництва і на кожному етапі будівництва вартість продажу збільшується пропорційно до часу здачі в експлуатацію. Також ціна може коливатись в залежно від економічних факторів. Наприклад, за умов стабільності та високого попиту, вона може підвищуватись, тоді як у разі кризи та зменшення

попиту ціни знижують для залучення більшої кількості покупців. Первинний ринок відрізняється доволі гнучкими умови для придбання у власність, пропонується розстрочка, іпотека або індивідуальний графік сплати.

Вторинний ринок відрізняється від первинного тим, що об'єктом який бере участь у продажі є вже експлуатовані до цього приміщення. Таким чином, особа купує не нове житло від забудовника, а житло яким вже хтось володів до цього. Частіше за все операції на цьому ринку є перепродажем. Вторинний ринок має свої особливості. По-перше, більшість таких об'єктів вже мають певне оздоблення і готові до використання. По-друге, вторинна нерухомість дає покупцю ширший вибір, адже на цьому ринку можна придбати об'єкти різних років побудови. Це дає змогу шукати житло або приміщення, що можуть бути нижчими в ціні. По-третє, процес придбання нерухомості є швидшим ніж на первинному ринку, де частіше за все доведеться чекати завершення будівельних процесів.

Обидва сегменти – первинний і вторинний ринки, формують єдиний ринок нерухомості та мають взаємозалежність. Не зважаючи на відмінності, вони мають схожі риси. По-перше, обидва ринки пов'язані із регіональними факторами: попит, а внаслідок і ціноутворення можуть місцево змінюватись під впливом економічного зростання, змін в інфраструктурі, особливо помітних під час війни міграційних процесів та інших явищ. По-друге, існує взаємозв'язок цінової політики. Зростання цін на одному з ринків, стимулює інтерес до об'єктів на іншому, що призводить до загального зростання. При цьому ціни на вторинному ринку слугують певним орієнтиром для первинного. На основі цих даних, забудовник може оцінити доцільність вкладень та будівництва нової нерухомості в певних регіонах. Водночас новобудови, які формують базову вартість на ринку, впливають на ціноутворення вторинного житла.

Головними фізичними чинниками, які тою чи іншою мірою мають вплив на формування ціни можна назвати місцезнаходження, якість об'єкту та квартири. Якщо детальніше розглянути ці чинники, то можна виокремити такі фактори:

- місцезнаходження: рівень розвитку інфраструктури, розташування будинку від центру міста, місця для відпочинку, транспортна доступність, безпечність, район в якому знаходиться будівля;
- якість об'єкту: вік і стан будинку, матеріали з яких побудовано будинок, наявність джерел для автономного живлення, наявність паркінгу, тип прибудинкової території;
- якість квартири описується такими характеристиками: загальна та житлова площа, кількість кімнат у квартирі, планування, наявність балконів або лоджій, поверховість квартири.

1.2 Основні тенденції на ринку нерухомості у сучасних реаліях України

На ринку нерухомості з часом виникають певні проблеми та тенденції з настанням тих чи інших умов. Однією з таких проблем є невизначеність при купівлі нерухомості. Така проблема існує давно, але зараз вона стала ще більш актуальною. Багато будівництв заморожуються через брак коштів, фальсифікацію документів, незаконну забудову. До цих причин додалась ще одна – ураження будівель через бойові дії на території країни. За інформацією Світового банку було пошкоджено або повністю зруйновано 10% житлового фонду України [14]. Також, інтернет видавництво Liga.net, завдяки інформації місцевих адміністрацій, а також Міністерства інфраструктури, визначило кількість зруйнованих об'єктів. Зруйновано понад 213 тис. об'єктів, серед яких найбільше постраждали житлово-комунальний сектор, торгівля, промисловість, транспорт, сільське господарство та енергетика. Найбільших руйнувань зазнали Донецька, Харківська, Луганська, Запорізька, Херсонська та Київська області [15]. Такі умови додають ризиків під час вкладання коштів, оскільки забудовники можуть не мати змоги завершити проєкт або відтермінувати його завершення. Будівлі, що було пошкоджено на стадії будівництва, також можуть залишитись в недобудованому стані. Тому більшість

інвесторів в ринок нерухомості, при вкладанні коштів, почали враховувати й безпекову ситуацію, окрім надійності забудовника та привабливості об'єкта для інвестицій. Як наслідок виникла тенденція до зміщення центру основних операцій. Хоч постраждали всі регіони України, є ті, що мають не таку велику кількість руйнувань в порівнянні з іншими. Закарпатська, Волинська, Івано-Франківська, Чернівецька області постраждали найменше [15]. Через це велика кількість забудовників зосередились на більш безпечних містах та областях країни, тим самим зменшивши активність у регіонах які знаходяться у більшій зоні ризику. З одного боку, для зменшення ризиків вкладання коштів у будівництво, а з іншого через те, що багато українців почали мігрувати як внутрішньо переміщенні особи. Частина населення була вимушена покинути свої домівки через окупацію територій та загрозу їхньому життю. За даними інформаційно-обчислювального центру Мінсоцполітики станом на 02.01.2025 в Україні зареєстровано 4622761 ВПО [16], а областями з найбільшою кількістю переселенців є Донецька, Харківська, Дніпропетровська, Луганська, Запорізька області та місто Київ. Отже, ринок дійсно має тенденцію до поступового зміщення концентрації забудови нового житла у бік західної частини країни.

Ще одним особливим аспектом на обласному ринку, в умовах складної економічної ситуації, є кредитування. Часто стається так, що вартість житла не відповідає можливостям більшості громадян придбати її у власність без звернення до допоміжних механізмів фінансування неможливо. Сьогодні це дуже важливий інструмент, який допомагає підтримувати та розвивати ринок нерухомості, та виступає його стимулятором. За допомогою кредитних програм у жителів стає більше можливостей, а ринок стає стабільнішим і багато забудовників отримують можливість створювати нові проєкти.

Існують різні види отримання коштів для купівлі нерухомості:

1. Розтермінування
2. Іпотечний кредит

Розтермінування – популярна альтернатива банківському кредиту. Основна перевага цього механізму полягає в тому, що покупець може виплачувати

нерухомість частинами протягом встановленого проміжку часу. Перший внесок в таких платежах складає від 10% до 50% вартості. А відсоткова ставка на таке кредитування може бути як 0%, так і змінною залежно від терміну на який здійснюється розтермінування. Зазвичай угоди укладають на термін до завершення будівництва або на короткий термін не більше 3-х років. Завдяки цьому механізму, забудовник може поступово отримувати кошти для майбутніх вкладень і новий потік інвесторів. Для покупця це чудова можливість отримати бажане житло, не вкладаючи повну суму одразу. Цей механізм пропонується у більшості нових забудов та переважає за кількістю пропозицій в порівнянні з іншими видами купівлі нерухомості не за власні кошти. Але в альтернативі є і свої мінуси у вигляді меншого терміну в порівнянні з іпотекою, відсутності додаткових процентів тільки за умов короткострокових угод.

Іпотека ж, визначається законом України «Про Іпотеку», так: «Іпотека – вид забезпечення виконання зобов'язання нерухомим майном (неподільним об'єктом незавершеного будівництва, майбутнім об'єктом нерухомості), що залишається у володінні й користуванні іпотекодавця, згідно з яким іпотекодержатель має право в разі невиконання боржником забезпеченого іпотекою зобов'язання задовольнити свої вимоги коштом предмета іпотеки переважно перед іншими кредиторами такого боржника у порядку, встановленому цим Законом» [17]. Також іпотечний кредит зазвичай оформлюється на довготривалий термін, від 10 до 30 років.

В Україні діють державні програми іпотечного кредитування. Таким чином, уряд допомагає жителям країни, стимулює ринок збільшенням попиту шляхом збільшення можливості купівлі житла. «єОселя» одна з таких державних програм. Її суть полягає в наданні іпотеки з компенсацією та без. Програма з компенсацією надається під 3% річних, яку компенсують коштом обласного бюджету, більш обмежених вибірці громадян. Для отримання громадянин повинен бути військовослужбовцем, медичним працівником, педагогічним працівником або науково-педагогічним [18]. Програма під 7% річних менш обмежена. Під критерій підпадають : ветерани війни, учасники бойових дій, сім'ї загиблих, особи з інвалідністю, ВПО та Інші громадяни України, які не мають у власності житлової

нерухомості або у власності яких є менше ніж 52,5 кв. метра[19]. Найбільшими за кількістю пропозиції первинного ринку з довгостроковими виплатами є розтермінування від забудовника, друге місце за кількістю займає іпотека «єОселя» [20]. Держава вводить і інші ініціативи. Під час війни забороняється виселяти людей, що проживають в іпотечному житлі. Також є можливість призупинити сплату за іпотечними кредитами в період воєнного стану протягом 90 днів після його завершення, якщо воно підпадає під певні ознаки категорій. Майно має бути пошкоджено, знищено або розташоване на території бойових дій [21].

Однак, не можна заперечувати той факт, що тенденції на ринку формуються не лише на основі фізичних чинників, а й на основі економічних. Іншими, можливо набагато впливовішими є макроекономічні чинники, які стали особливо відчутними після початку повномасштабного вторгнення, поглиблюючи проблеми, пов'язані із загальною економічною нестабільністю. Підвищення темпів інфляції значно знизило купівельну спроможність населення. Багато українців втратили можливість робити великі покупки або відклали їх до настання більш сприятливих умов та стабілізації економіки. Важливим фактором також є постійне зростання валютного курсу, який чинить прямий вплив на вартість будівельних матеріалів, що виробляються за кордоном і необхідні для будівництва або відновлення житла. В умовах зниження вартості гривні, інвестиції в нерухомість стають менш привабливими для можливих інвесторів, оскільки це додатковий валютний ризик.

Ще одним аспектом є зміни облікових ставок Національним банком України, оскільки підвищення ставки веде до дорожчання кредитів, роблячи наявні форми кредитування менш доступними для більшості населення. Таким чином зменшується і купівельна спроможність, в наслідок чого знижується і попит на житло. До схожої тенденції призводить і зниження рівня доходів населення, оскільки через падіння економічної активності, скорочення робочих місць й заробітних плат частка населення втрачає можливість до придбання житла навіть за умов великого вибору способів кредитування.

Спадання внутрішнього валового продукту в країні визначає падіння на всьому економічному стану. В таких умовах відбувається зниження економічної

активності, зменшується обсяг інвестицій, населення стає схильним до відмови від значних придбань. У випадку забудовників це відсіює певну частку реалізацій нових проєктів через те що з'являється невпевненість у стабільності фінансування.

З зазначеного випливає, що сучасні реалії на ринку нерухомості значною мірою зумовлені як воєнними діями, які стали каталізатором посилення негативного впливу макроекономічних факторів. Це дає підстави для перевірки значущості впливу факторів на значення ціни на нерухомість.

Таблиця 1.1 – Узагальнення основних сучасних тенденцій на ринку нерухомості

Тенденція	Зміни/Причини	Наслідки
Регіональна диференціація руйнувань	Руйнування інфраструктури в центральних та східних частинах України, відносна безпека західних регіонів	Поступове зміщення концентрації забудови нового житла у бік західної частини країни
Зростання ризиків у будівництві	Зниження довіри інвесторів та забудовників через безпекову ситуацію	Зниження темпів здачі об'єктів в експлуатацію, руйнування, зупинка будівництва
Внутрішнє переміщення населення	Формування 4,6 млн ВПО станом через початок військових дій	Перерозподіл попиту в регіонах, збільшення попиту в західних та центральних містах
Стимуляція попиту на нерухомість	Активізація програм іпотеки та підтримки купівлі житла	Доступніші умови для купівлі житла для груп населення, зростання попиту
Інфляційні процеси	Прискорення темпів інфляції	Зменшення купівельної спроможності населення, знецінення заощаджень
Коливання курсу валют	Зростання курсу валют	Підвищення витрат на будівництво, удорожчання вартості будівництва, зменшення купівельної спроможності населення
Зміни облікової ставки	Підвищення облікової ставки НБУ	Дорожчання кредитів, зменшення доступності кредитування для більшості верств населення
Зміна доходів населення	Зниження реальних доходів населення, втрата робочих місць	Падіння купівельної спроможності, скорочення попиту на житло
ВВП країни	Зниження економічної активності, падіння ВВП	Зниження зменшення обсягу інвестицій, зменшення рівня впевненості забудовників та покупців

Джерело: розроблено автором на основі [14-21]

1.3 Методи і моделі прогнозування цін на ринку нерухомості

На основі проведеного аналізу, були обрані такі методи для дослідження та прогнозування ціни на ринку нерухомості.

Графічний метод використано для представлення та аналізу динаміки цін у великих містах, які розташовані у різних частинах країни, та графіку площі введеного в експлуатацію житла.

Ще один вид представлення даних у графічній формі – декомпозиція. Це один з методів аналізу часового ряду, який передбачає виокремлення його складових які представляють його певну регулярну компоненту. Під час такого аналізу кожна компонента розглядається окремо, що дає змогу дослідити довгострокову динаміку, періодичні коливання та непередбачувані зміни в даних. Він дає можливість розкрити тренд, сезонність та залишкові компоненти у часовому ряді [22]. У контексті аналізу цін на квадратний метр, важливо отримати розуміння, яким є тренд та на основі чого змінюються ціни, визначити чи наявне у ряді сезонне зростання, наприклад у певні пори року або напередодні значущих подій.

Одним з ключових етапів при підготовці до моделювання, та аналізі часових рядів є перевірка ряду на стаціонарність. Стаціонарним називають ряд, який не має ознак тренду, циклічності та сезонності. Тобто динамічні ряди, характер яких не змінюється з часом. Перевірку можна проводити використовуючи тест Діккі-Фуллера (ADF-тест), який демонструє наявність одиничного кореня [23]. Одиничний корінь є характерним для нестаціонарних часових рядів. Тест є математичною моделлю, яка відображає взаємозв'язок між часовим рядом та його попередніми значеннями і описується формулою [23]:

$$Y_t = pY_{t-1} + \varepsilon_t, \quad (1.1)$$

де Y_t – значення часового ряду у момент часу t

p – коефіцієнт при лаговому значенні,

ε_t – випадкова похибка.

Тест використовується для перевірки гіпотез:

- нульова гіпотеза (H_0): якщо $p < 0.05$, то гіпотеза про наявність одиничного кореня (не стаціонарності) відхиляється, і ряд вважається стаціонарним;
- альтернативна гіпотеза (H_1): якщо $p \geq 0.05$, то ряд нестаціонарний, і його потрібно трансформувати за допомогою диференціювання.

Розширений тест Дікі-Фуллера (ADF-тест) є розширенням простого DF-тесту для визначення того, чи є дані фінансових часових рядів стаціонарними. Він широко використовується для статистичних тестів в економетриці. Основна відмінність полягає в тому, що в ньому враховуються можливі тренди та серійні кореляції. Формула ADF тесту має наступний вигляд [23]:

$$\Delta y_t = \alpha + \beta t + \gamma y_t - 1 + \delta_1 \Delta y_t - 1 + \delta_2 \Delta y_t - 2 + \dots + \delta_p \Delta y_t - p + \varepsilon_t, \quad (1.2)$$

де Δy_t — перша різниця часового ряду y , α - постійний член,

βt — член лінійного тренду,

y_t — 1 попереднє значення y , $\Delta y_t - 1$, $\Delta y_t - 2$, ...,

$\Delta y_t - p$ лагові різниці y з точністю до p лагів,

ε_t — випадкова похибка.

У роботі було використано саме ADF-тест для перевірки стаціонарності часового ряду медіанних цін на квадратний метр житла.

Другим етапом перевірки при підготовці до моделювання стала перевірка на наявність в даних автокореляції. Автокореляція характеризує ступінь лінійної залежності між поточними значеннями та його попередніми значеннями часового ряду [24]. Для цієї задачі було використано критерій Льюнга-Бокса (Ljung-Box test). Він дозволяє перевірити гіпотезу про відсутність автокореляції у часовому ряді і визначається як [25]:

$$Q = n(n+2) \sum_{k=1}^h \frac{r_k^2}{n-k}, \quad (1.3)$$

де n — розмір вибірки,

r_k — автокореляційний коефіцієнт на лагу k

h — кількість лагів, які приймаються до аналізу

За допомогою тесту проводиться перевірка гіпотез:

- нульова гіпотеза (H_0): якщо $p > 0.05$, то немає підстав вважати що автокореляція присутня;
- альтернативна гіпотеза (H_1): якщо $p < 0.05$, то автокореляція присутня принаймні на одному з лагів і вважається статистично значущою.

У роботі критерій застосовувався як до початкових часових рядів, так і до залишків побудованих моделей, для перевірки на відсутність автокореляції в залишках.

Для аналізу статистичної значущості побудованих моделей прогнозування, було виконано перевірку розподілу залишків за допомогою тесту Шапіро-Вілка. Перевірка залишків є важливим етапом, оскільки більшість підходів в економетриці базуються на припущенні про нормальність розподілу залишків. Якщо залишки мають розподіл близький до нормального це дає підстави для того щоб вважати, що у моделі прогнозу відсутні відхилення, а отримані результати оцінки параметрів моделі є достовірними з коректним відображенням довірчих інтервалів.

Тест Шапіро-Вілка є одним із класичних тестів для перевірки залишків. Він дозволяє перевірити гіпотези, що вибіркові дані походять із генеральної сукупності з нормальним розподілом[26]. Розрахунок відбувається за формулою [27]:

$$W = \frac{\left(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)}\right)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (1.4)$$

$x_{(i)}$ – значення i -го порядкового елемента;

$\bar{x}$ – середнє значення вибірки;

a_i – коефіцієнти, що залежать від розміру вибірки та властивостей нормального розподілу

Основна ідея полягає в перевірці гіпотез:

- нульова гіпотеза (H_0): якщо значення W близьке до 1, а $p\text{-value} > 0,05$, то розподіл близький або не відхиляється від нормального
- альтернативна гіпотеза (H_1): якщо значення W значно менше ніж 1, а $p\text{-value} < 0,05$, тоді гіпотеза щодо нормального розподілу відхиляється.

Наступним етапом підготовки для побудови моделей є перевірка значень, за допомогою матриці кореляцій. Першою причиною застосування є перевірка взаємозв'язків між змінними для визначення мультиколінеарності – явища, коли пояснювальні змінні мають кореляцію не тільки із залежною змінною, а і з незалежними. Якщо мультиколінеарність присутня, то це ускладнює визначення реального впливу змінних, що внаслідок зменшує достовірність прогнозу. Ще одна причина перевірки полягає у визначенні ступеня кореляції між залежною змінною та кожною з незалежних, щоб виявити те, який з показників має найбільший вплив.

Для правильної оцінки якості прогнозів, необхідно було правильно оцінити точність побудованих моделей, щоб використати найбільш точну при прогнозі майбутніх значень медіанної ціни на квадратний метр нерухомості по обласних центрах України. Справжню точність прогнозів можна визначити лише шляхом аналізу того, наскільки добре модель працює на нових даних, які не були використані для побудови цієї моделі [24]. З метою правильної оцінки часові ряди кожного з міст було розділено на тестову та тренувальні вибірки. Тренувальна вибірка потрібна для навчання моделі на певному об'ємі даних, тоді як тестова призначена для перевірки її прогнозної точності. Оскільки тестова вибірка не використовується під час навчання моделі, за допомогою неї можна дати об'єктивну оцінку того, наскільки точні прогнози модель буде показувати. Як правило, співвідношення тренувальної до тестової вибірки становить приблизно 80% до 20% від загального об'єму даних [24]. У даному дослідженні дані для кожного міста було розділено за цим принципом.

Також, щоб визначити точність, складність та адекватність моделі, пораховано значення помилок прогнозу, які вимірюються як різниця між прогнозними та фактичними значеннями досліджуваної змінної. Було обрано найбільш поширені показники такі як: RMSE (Корінь середньоквадратичної похибки), MAE (Середня абсолютна похибка), MAPE (середня абсолютна відсоткова похибка) та AIC (інформаційний критерій Акаїке).

Root Mean Square Error (RMSE) визначається як [28]:

$$RMSE = \sqrt{MSE} \quad (1.5)$$

Mean Square Error (MSE) в свою чергу [28]:

$$\text{MSE} = \frac{1}{n} \sum (y_t - \hat{y}_t)^2 \quad (1.6)$$

Mean Absolute Error (MAE) [28]:

$$\text{MAE} = \sum_{i=1}^n \frac{|y_t - \hat{y}_t|}{n} \quad (1.7)$$

Mean Absolute Percentage Error (MAPE) [28]:

$$\text{MAPE} = \sum_{i=1}^n \frac{100|u_t - \hat{y}_t|}{n|y_t|} \quad (1.8)$$

Akaike information criterion (AIC)[29]:

$$\text{AIC} = -2 \log L(\hat{\theta}) + 2k \quad (1.9)$$

Під час виконання, було побудовано ряд моделей для прогнозування даних, які представлені у вигляді часового ряду для вибору тієї, що найкраще виконує цю задачу враховуючи специфіку даних, а саме зміни у динаміці цін спричинені повномасштабним вторгненням та супутніми змінами економічних умов в країні.

Перший використаний метод для виконання поставлених задач, є регресійна модель із регуляризацією L2 (Ridge). Вона є модифікацією методу найменших квадратів і дозволяє уникнути проблеми явища мультиколінеарності та покращити коефіцієнти моделі [30]. Побудова моделі схожа на побудову звичайної лінійної регресії, але суттєва різниця полягає у наявності штрафного параметра λ , який контролює параметри моделі шляхом їх зниження [31]. Таким чином, зі збільшенням гіперпараметру регуляризації вектор параметрів коефіцієнтів β знижується. У випадку, коли $\lambda = 0$, то отримуються результати класичної МНК-регресії. Точність та ефективність Ridge, отримується при умові правильно підбраного штрафного параметру. Для підбору стандартно застосовують метод оцінки середньоквадратичної похибки (MSE), значення при якому вона найменша вказує на оптимальність параметра [31]. Іншим популярним варіантом знаходження оптимального параметра λ є крос-валідація. Її суть полягає у випадковому розбитті вибірки на k частини, які використовуються для валідації, а

решта для навчання. Після чого проводиться обчислення середніх значень помилок для вибору λ [31]. Однак, для структури часового ряду, таке розбиття вибірки не є вірним, оскільки дані мають хронологічну залежність. Тому доцільно використовувати крос-валідацію часових рядів (Rolling origin cross-validation), що дозволяє зафіксувати дані й навчати модель виключно на попередніх значеннях. Саме такий підхід, і було використано під час побудови Ridge-моделі для виконання.

Після побудови моделі, необхідно оцінити її якість, окрім наведених метрик RMSE, MAE та MAPE за допомогою коефіцієнта детермінації (R^2). Він показує яку частку дисперсії залежної змінної пояснюють включені в модель фактори [28]. Чим більше значення до 1, тим вищою є пояснювальна здатність моделі та точність відображення зв'язку між незалежними змінними і результатом.

Другий використаний метод – Експоненціальне згладжування. Це один із класичних методів прогнозування, який використовує певну кількість попередніх значень для прогнозування, а також є обчислювальною процедурою, що обробляє всі спостереження, враховуючи старіння інформації в міру її віддалення від періоду прогнозу [32]. Підхід базується на обчисленні прогнозних значень за допомогою врахування поступового зменшення ваги попередніх спостережень в часовому ряді. Для врахування трендів та сезонності використовується поєднання компонентів: похибок (errors), трендів (trends) і сезонності (seasonality). За допомогою цих компонентів формується модель ETS (Error, Trend, Seasonality). Таким чином завдяки широкому вибору комбінацій компонентів існує можливість побудувати велику кількість моделей експоненціального згладжування [32]. Перевірена часом і підтверджена багатьма дослідженнями модель є корисним вибором для прогнозування динаміки медіанної ціни квадратного метра нерухомості в сучасних реаліях України, оскільки вона може враховувати такі особливості використаних часових рядів як тренд та сезонність. Її основні переваги це простота та ефективність. Але водночас, щоб досягти згаданої ефективності необхідно правильно обрати оптимальний параметр згладжування та підібрати відповідні компоненти, які найкраще виявляють структуру даних.

Третім методом прогнозування який був використаний є авторегресійне інтегроване ковзне середнє (Autoregressive Integrated Moving Average Model). Модель ARIMA на відміну від ETS пропонує інший підхід до прогнозування. Хоча обидві з них і є найбільш поширеними, між ними існує істотна різниця. Якщо модель експоненціального згладжування будується на описі тренду та сезонності, то ARIMA має на меті описати автокореляцію в даних [24]. Модель формується шляхом регресії залежної змінної на власні значення лагів, поточне значення випадкової похибки з урахуванням необхідного диференціювання для забезпечення стаціонарності [32]. Модель об'єднує три основні компоненти, які формують аббревіатуру – назву моделі :

- AR – Авторегресія: описує залежність поточного значення до його попередніх значень. Порядок в побудові моделі позначається як «р».
- I – Інтегрованість: визначення того чи є ряд стаціонарним за допомогою диференціювання. Ступінь диференціювання позначається як «d».
- MA – Ковзне середнє: лінійна комбінація поточних та попередніх похибок прогнозу. Порядок ковзного середнього в моделі позначається як «q».

Основною проблемою ARIMA є неврахування сезонних коливань, які присутні в часових рядах багатьох міст. Тому для врахування сезонності використовують розширену модель SARIMA в яку включаються сезонні компоненти:

- SAR – Сезонна авторегресія: відображає залежність між поточним значенням ряду та його минулими значеннями, при сезонних лагах («P»).
- SI – Сезонна інтегрованість: Як і для несезонної різниці, цей компонент враховує різницю, необхідну для усунення сезонності з ряду («D»).
- SMA – Сезонне ковзне середнє: залежність поточних та залишкових похибок минулих прогнозів на сезонних лагах.

SARIMA модель утворюється шляхом включення додаткових сезонних членів в ARIMA модель і має вигляд:

$$\text{ARIMA}(p, d, q)(P, D, Q)[s], \quad (8)$$

де p, d, q – порядок авторегресії, ступінь диференціації, кількість ковзних середніх в основній моделі *ARIMA*.

P, D, Q - порядки для сезонних компонент *SAR, SI та SMA*.
 s - період сезонності.

РОЗДІЛ 2

ПРОГНОЗУВАННЯ ЦІН НА НЕРУХОМІСТЬ В СУЧАСНИХ РЕАЛІЯХ

2.1 Аналіз динаміки цін на ринку нерухомості України у період з 01.01.2016-01.01.2025 рр.

Для виконання роботи використано власноруч зібраний за допомогою даних з різних джерел датасет [33, 34, 35, 36, 37]. Датасет містить дані за період 01.01.2016-01.01.2025 і складається з 2180 спостережень та 7 колонок (рис. 2.1). Колонка «Місто» включає в себе: Київ, Львів, Дніпро, Рівне, Ужгородська міська громада, Вінниця, Харків, Запоріжжя, Одеса, Суми, Чернівці, Івано-Франківськ, Полтава, Тернопіль, Хмельницький, Чернігів, Миколаївська міська громада, Житомир, Черкаси, Луцьк. До списку міст також не включено тимчасово окуповані території та зони активних бойових дій через відсутність значного обсягу даних (Луганськ, Донецьк, Севастополь, Кривий Ріг, Сімферополь, Херсон).

Дата <chr>	Ціна <dbl>	Місто <chr>	Курс <dbl>	ІСЦ <dbl>	ЗП <dbl>	Облставка <dbl>	ВВП <dbl>
2016-01-01	20760	Київ	25.56	101.3	3894.73	22.0	4.552980e+11
2016-02-01	21000	Київ	27.09	99.7	4029.89	22.0	4.552980e+11
2016-03-01	20530	Київ	26.22	101.6	4208.47	22.0	4.552980e+11
2016-04-01	20730	Київ	25.20	101.2	4211.77	19.0	5.357010e+11
2016-05-01	20732	Київ	25.14	100.0	4370.92	18.0	5.357010e+11
2024-09-01	35750	Луцьк	41.21	101.6	18020.86	13.0	2.092353e+12
2024-10-01	35750	Луцьк	41.19	101.9	18704.98	13.0	2.194371e+12
2024-11-01	36250	Луцьк	41.56	101.8	18823.31	13.0	2.194371e+12
2024-12-01	36250	Луцьк	42.02	101.7	21698.99	13.5	2.194371e+12
2025-01-01	37000	Луцьк	41.95	101.2	18660.32	14.5	2.194371e+12

Рисунок 2.1 – Перші та останні значення набору даних медіанної ціни на квадратний метр нерухомості з макроекономічними показниками

Джерело: розроблено автором на основі [33-37]

- Дата – Дата спостереження;
- Ціна – Медіанна ціна за квадратний метр первинного житла, грн;
- Місто – Місто в якому знаходиться нерухомість;

- Курс – Курс гривні до долара США;
- ІСЦ – Індекс споживчих цін, %;
- ЗП – Середня заробітна плата, грн;
- Облставка – Облікова ставка НБУ, %;
- ВВП – Внутрішній валовий продукт, грн.

Спочатку на основі наведеного набору даних проведемо аналіз динаміки цін по ключовим містам. Київ є ключовим фінансовим та діловим центром країни. Столиця має високий попит на житлову нерухомість через низку факторів. Таких як от міграція молодого населення в зв'язку із вступом в заклад вищої, кількість яких складає 121 станом на 21 лютого 2025 р. Велика концентрація державних установ та бізнесів, яких за даними Державної служби статистики 1503782 юридичних осіб. Тож основні зміни можна відслідкувати за допомогою розгляду динаміки цін саме цього міста (рис. 2.2).

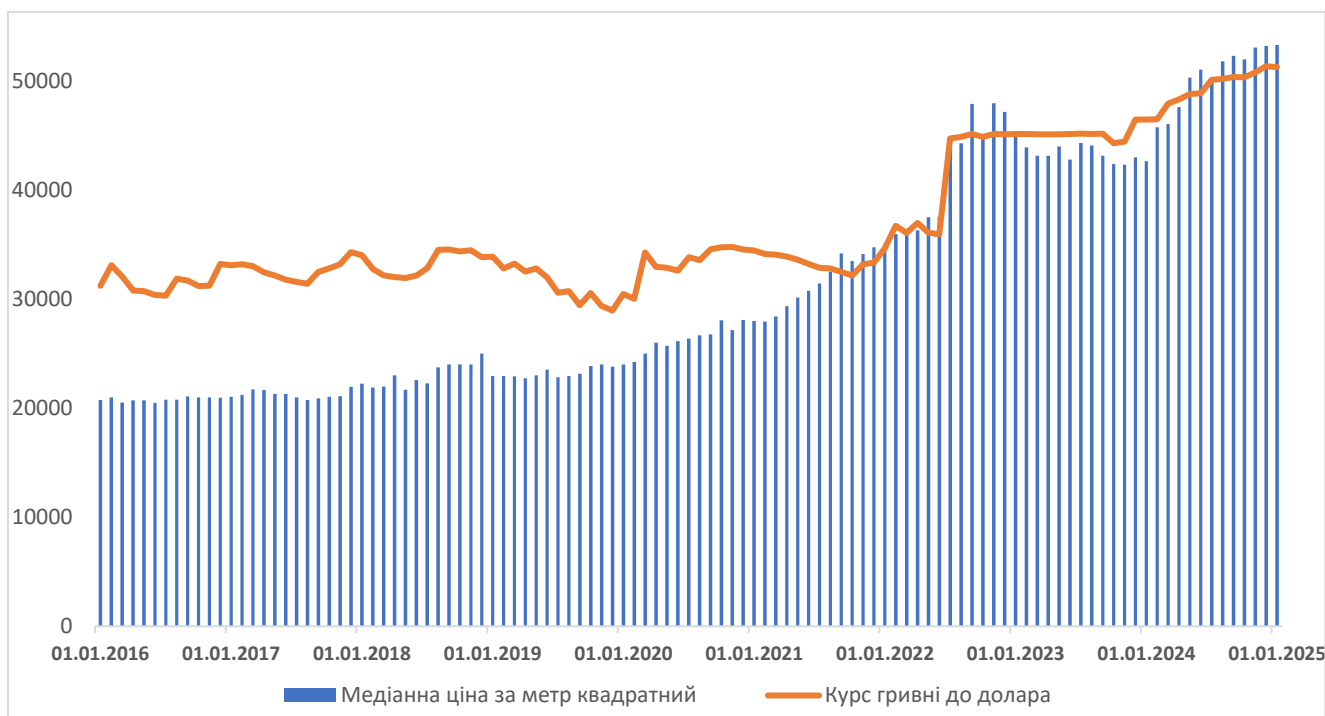


Рисунок 2.2 - Динаміка медіанної ціни за квадратний метр в Києві(грн) та курсу гривні до долара 2016-01.01.2025

Джерело: розроблено автором на основі [32]

З початку 2016 по 2018 рік, можна помітити що ціни тримаються на одному рівні. У кінці 2018 - на початку 2019 року можна помітити невеликі зміни в ціні,

що співпадають із збільшенням курсу долар. Оскільки ми розглядаємо первинний ринок нерухомості, який напряду залежить від валютного курсу, зі збільшенням курсу долара, зростають ціни на будівельні матеріали та енергоносії. Загалом, період з 2016 по 2020, можна охарактеризувати помірним зростанням і незначними коливаннями в зв'язку із змінами валютного курсу. В 2020 - початку 2022 року, можна помітити що ціна на метр квадратний почала підвищуватись із більшою інтенсивністю. Основною причиною такого зростання є пандемія, яка похитнула українську економіку та роботу бізнесу. В активний період пандемії, поставки будівельних товарів ускладнились, адже багато бізнесів припинило свою роботу і мали пристосуватись до нових умов. Далі можемо бачити коливання цін протягом останніх років, а саме 2022-2025 року. Вони спричинені повномасштабним вторгненням країни агресора. Якщо розглянути статистику від платформи для продажу та оренди житла ЛУН (рис.2.3), то площа введенного в експлуатацію житла знизилась майже у два рази в порівнянні з 2021 роком. В той момент завершувалась більшість проєктів, що запустились у попередні роки. Тоді як у наступні роки показник сильно знизився, що пояснюється припиненням будівництва або перенесенням невизначений термін.

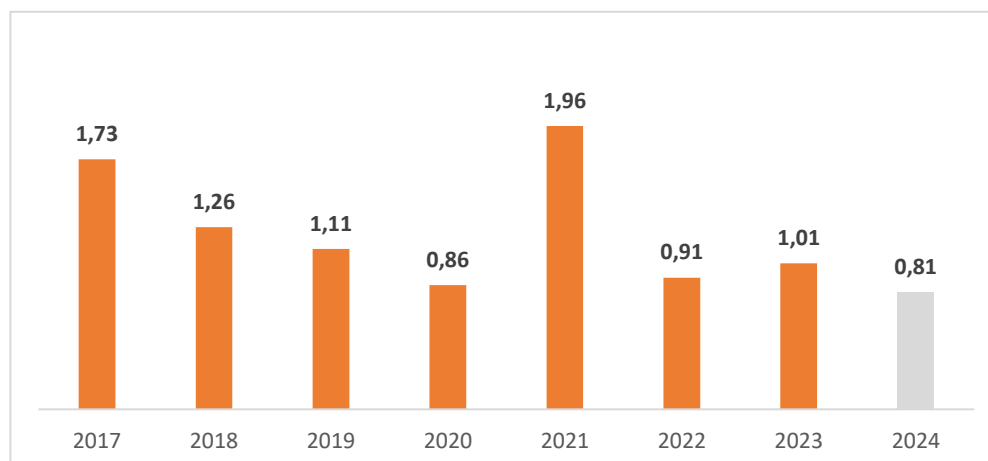


Рисунок 2.3 – Площа введенного житла в експлуатацію, млн. кв. м. 2017-2024

Джерело: розроблено автором на основі [20]

Населення в регіоні першочергово мало на меті убезпечити своє життя. Тож частка українців були вимушені мігрувати за кордон або західні області країни. Після настання більш стабільної ситуації в регіоні, що був вражений в наслідку

бойових дій мешканці почали поступово повертатись. Але велика кількість житла що будувалась або знаходилась на кінцевому етапі будівництва постраждала. Через це забудовники почали вкладати додаткові кошти на відновлення таких об'єктів, що також позначилось на цінах в майбутньому.

На стрімке підвищення цін також вплинули фактори зменшення пропозиції, дефіцит робочої сили в наслідок мобілізації чоловіків і удорожчання імпорту. Варто відмітити, що ефект зменшення вартості, який помітний до 4 жовтня 2023 р. виник через фіксацію валютного курсу гривні до долара США. Оскільки за даними Національного банку України з 9:00 21 липня 2022 р. було скориговано курс гривні до долара США на 25% до 36,5686 грн/дол. З огляду на зміну фундаментальних характеристик економіки України під час війни та зміцнення долара США до інших валют [20]. Рішення допомогло стабілізувати роботу фінансової системи, але наслідки фіксації видно на прикладі того як відміна цього явища відновила відкладені інфляційні процеси. Через це з початку 2024 р. ціни збільшувались більш суттєво і сягнули пікової відмітки 53225 грн за метр квадратний станом на 1 січня 2025 р.

Другий за кількістю населення обласний центр України – Харків. Середня ціна за квадратний метр в Харкові нижча ніж у Києві. До початку повномасштабного вторгнення тенденції є схожими, істотна різниця спостерігається лише в ціні. Однак в період 2022-2025р. ситуація змінилась, ціни з початку року аномально зросли і так само знизились після чого повернулись до відмітки, якої вони сягнули на початку вторгнення. Як видно з графіку (рис. 2.4), ціни у місті Харків не зросли настільки сильно як у Києві.

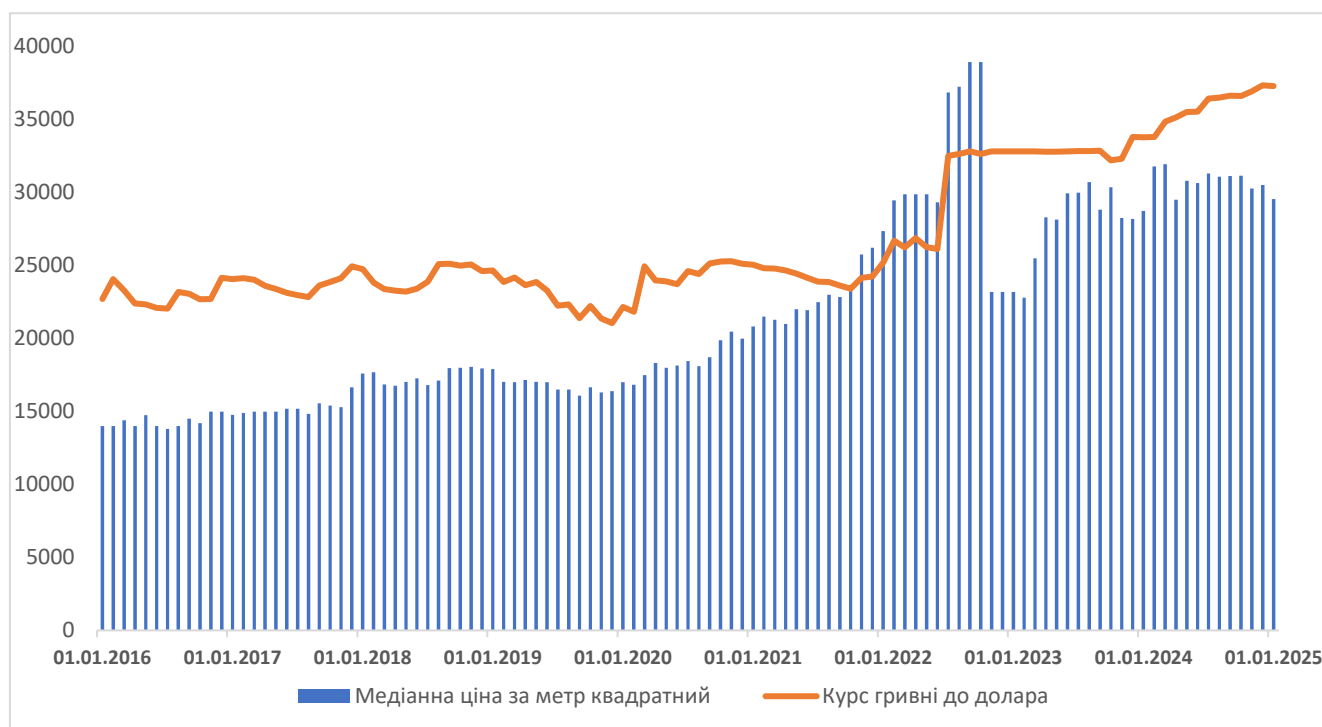


Рисунок 2.4 - Динаміка медіанної ціни за квадратний метр в Харкові(грн) та курсу гривні до долара 2016-01.01.2025

Джерело: розроблено автором на основі [32]

Причиною тому може слугувати територіальні особливості. Бо протягом повномасштабного вторгнення місто зазнає значних руйнувань від атак. Безпекова ситуація не сприяє відновленню ринку. Тому ціни на житло є нижчими ніж могли б бути, навіть за умов зростання курсу долара за цей період. Попит на первинний сектор не перевищує пропозицію. Кількість новобудов у продажу за цей період також це підтверджує. Адже за даними ЛУН[17], кожен місяць в продажу знаходиться в середньому 20 новобудов. В порівнянні із тим що у кінці 2021р. в продажу було 70 будинків.

Змістимо курс у іншу частину нашої країни. Львів є сьомим за населенням в Україні і налічує 718 383тис. осіб. Попит тут обумовлений не лише місцевими жителями, а й внутрішньою міграцією, інвестиціями у житлову та комерційну нерухомість. Крім цього, варто враховувати близькість міста до кордонів з Європейським Союзом, що стимулює розвиток логістики, бізнесу та створює додатковий вплив на ринок нерухомості в цьому місті. Важливо порівняти Львів із Києвом та Харковом, бо Київ знаходиться між західною та східною частиною

країни та є найбільшим економічним центром, тоді як Харків — ключове місто східного регіону. Львів у свою чергу – ключове місто західного регіону. З наведених цін (рис 2.5) видно, що кардинальні зміни на ринку знову помітні у період кінця 2021 по початок 2025.

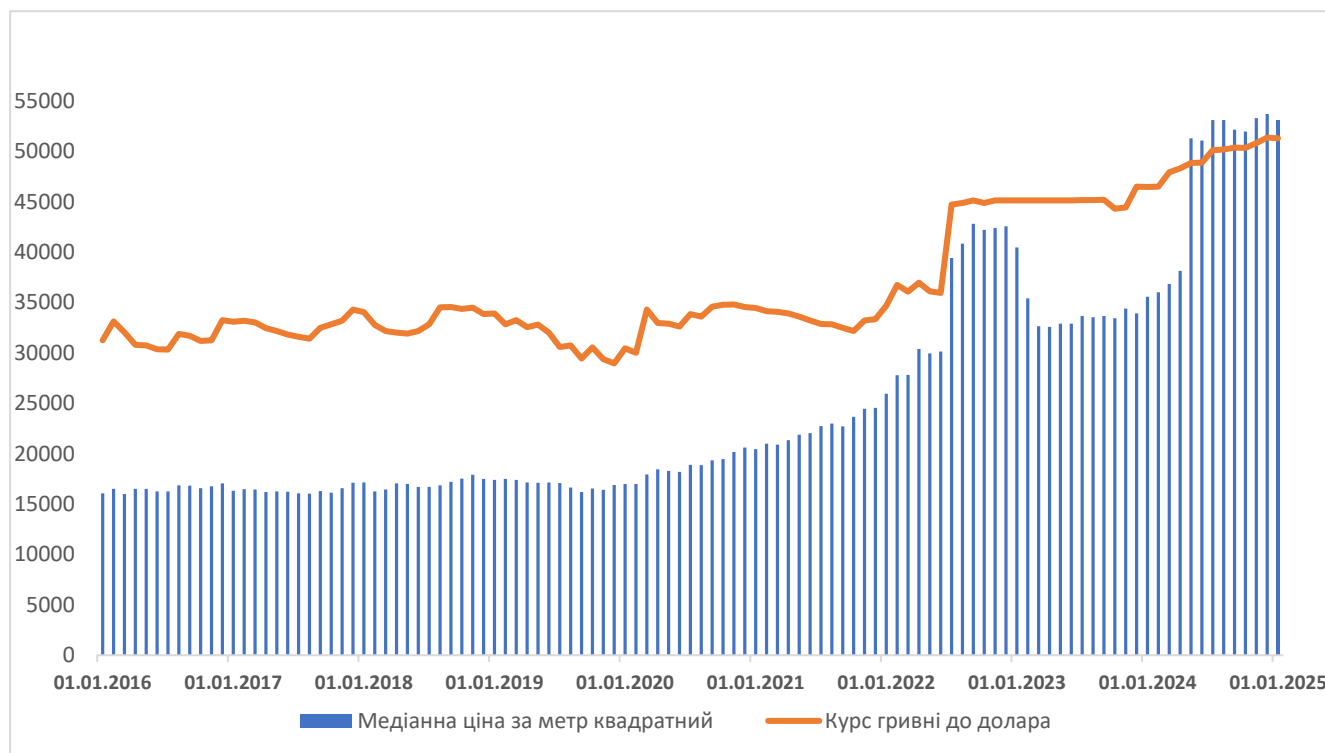


Рисунок 2.5 - Динаміка медіанної ціни за квадратний метр у Львові(грн) та курсу гривні до долара 2016-01.01.2025

Джерело: розроблено автором на основі [32]

Відмінність від інших міст, які було наведено полягає у більш стрімкому та сильному зростанні ціни. Так, поступово Львів зрівнявся із столичними показниками і став одним із найбільш дорогих міст в Україні для купівлі житла. Причиною цьому слугує згадана міграція, збільшення попиту на житло та економічна ситуація. Можна сказати, що наразі місто є одним із найбільш активних за кількістю поточних будівництв та житла в продажу на ринку первинної нерухомості, адже у продажу знаходиться 219 житлових комплексів, а на стадії підготовчих робіт і будівництва 177 житлових комплексів [17]. Високий рівень цін також пояснюється обмеженою кількістю інвестиційно привабливих обласних центрів з початком вторгнення. Міста що розташовані ближче до лінії фронту, а

також міста що зазнають постійних повітряних атак вже не складають таку конкуренцію на ринку.

Наведений аналіз динаміки цін демонструє складність формування, різницю цін на нерухомість первинного ринку в обласних центрах країни та можливості її передбачення. Тому спроба створення моделей для прогнозування ціни на нерухомість за допомогою різних методів є важливою та корисною для дослідження цін, особливо в умовах сучасних реалій що склались в Україні і ринку нерухомості.

2.2 Прогнозування цін на основі моделей часових рядів

Проведемо аналіз набору даних для подальшої побудови моделей прогнозування цін. Перед початком цього процесу проведемо декомпозицію часового ряду кожного міста та визначимо чи наявні в них тренд, сезонність, а також залишки (рис 2.6)

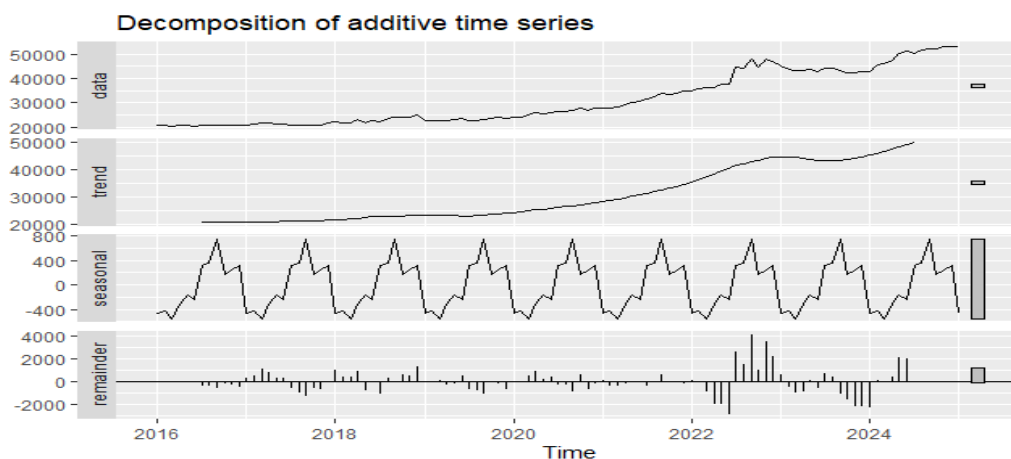


Рисунок 2.6 – Декомпозиція часового ряду медіанної ціни на нерухомість у Києві

Джерело: розроблено автором на основі [33-37]

З наведених графіків видно, що у часовому ряді наявний тренд до зростання, який означає помірне збільшення ціни на нерухомість з часом, яке прискорюється після настання 2020 року. Далі можна спостерігати щорічні сезонні

коливання, які повторюються у середині року. Залишки є відносно стабільними до періоду початку повномасштабного вторгнення, де починається відрізок сильної нестабільності.

Для часового ряду міста Львів, декомпозицію якого зображено на рисунку (рис. 2.7) також спостерігається наявність трендової складової, що зростає та змінюється з початком повномасштабного вторгнення. Видно стрімкий ріст та спад під час цього року. Однак, після короткочасного спаду ціна знов починає зростати. Сезонна складова вказує на циклічні коливання протягом всього періоду. Залишки мають незначні коливання до початку 2022 року, проте з настанням цього року коливання збільшуються.

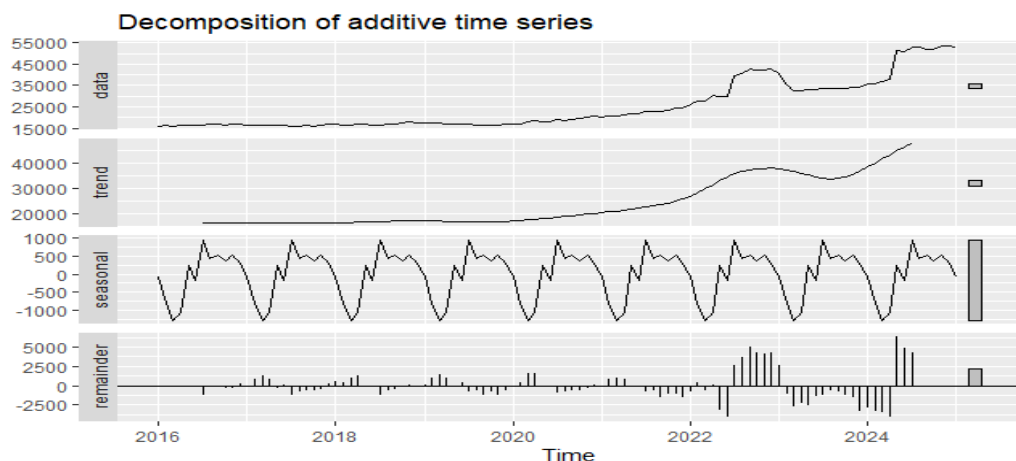


Рисунок 2.7 – Декомпозиція часового ряду медіанної ціни на нерухомість у Львові

Джерело: розроблено автором на основі [33-37]

Графік декомпозиції (рис. 2.8) для часового ряду міста Харків показав наявність тренду та циклічних сезонних коливань як і в інших розглянутих рядах, але із менш стрімким трендом. Видно, що ціна не так стрімко зростає, а залишається у одному діапазоні значень впродовж майже всього періоду, за виключенням різкого зросту у 2022 році. Залишки є нестабільними в період 2022-2024 років.

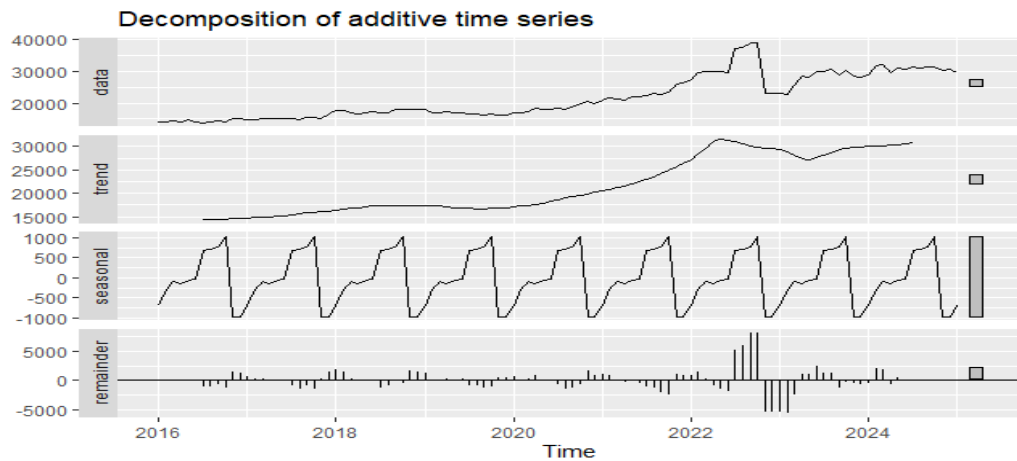


Рисунок 2.8 – Декомпозиція часового ряду медіанної ціни на нерухомість у Харкові

Джерело: розроблено автором на основі [33-37]

Таблиця 2.1 – Узагальнення результатів декомпозиції по всіх містах

Місто	Тренд	Сезонність
Київ	Наявний	Наявна
Львів	Наявний	Наявна
Дніпро	Наявний	Наявна
Рівне	Наявний	Наявна
Ужгород	Наявний	Наявна
Вінниця	Наявний	Наявна
Харків	Наявний	Наявна
Запоріжжя	Наявний	Наявна
Одеса	Наявний	Наявна
Суми	Наявний	Наявна
Чернівці	Наявний	Наявна
Івано-Франківськ	Наявний	Наявна
Полтава	Наявний	Наявна
Тернопіль	Наявний	Наявна
Хмельницький	Наявний	Наявна
Чернігів	Наявний	Наявна
Миколаїв	Наявний	Наявна
Житомир	Наявний	Наявна
Черкаси	Наявний	Наявна
Луцьк	Наявний	Наявна

Джерело: розроблено автором на основі [33-37]

Перед початком побудови моделей, проведемо тест на перевірку стаціонарності ряду. Вона була здійснена за допомогою тесту Дікі-Фуллера (ADF test) (рис. 2.9). Оскільки отримане значення ADF тесту є вищим за критичні значення для кожного міста, а p-value також є значно більшим ніж 0,05, це означає, що немає статистичних доказів для того щоб відхилити гіпотезу H_0 про

стаціонарність, що вказує на необхідність застосування диференціювання для перетворення всіх рядів на стаціонарні перед подальшим використанням.

```

Augmented Dickey-Fuller Test

data: ts_kyiv
Dickey-Fuller = -2.0367, Lag order = 4, p-value = 0.5614
alternative hypothesis: stationary

Augmented Dickey-Fuller Test

data: ts_lviv
Dickey-Fuller = -1.9459, Lag order = 4, p-value = 0.5991
alternative hypothesis: stationary

Augmented Dickey-Fuller Test

data: ts_kharkiv
Dickey-Fuller = -2.6488, Lag order = 4, p-value = 0.3075
alternative hypothesis: stationary

```

Рисунок 2.9 – Результати тесту Дікі-Фуллера для часових ряду міста Київ, Львів, Харків

Джерело: розроблено автором на основі [33-37]

Перша використана модель – експоненціальне загладжування, показник RMSE якої для часового ряду міста Київ має значення 2950,4. Показник MAE дорівнює 2268,3, MAPE – 5,11, а значення критерію AIC – 1585. На графіку (рис. 2.10) видно, що модель частково враховує наявний тренд та сезонні коливання, але значення точність прогнозу є невисокою. Це підтверджує лише частковий збіг тестової вибірки із фактичними значеннями та досить широкий довірчий інтервал, який вказує на високий ступінь невизначеності по мірі збільшення періоду прогнозу і набуває сильного розкиду в останніх місяцях.

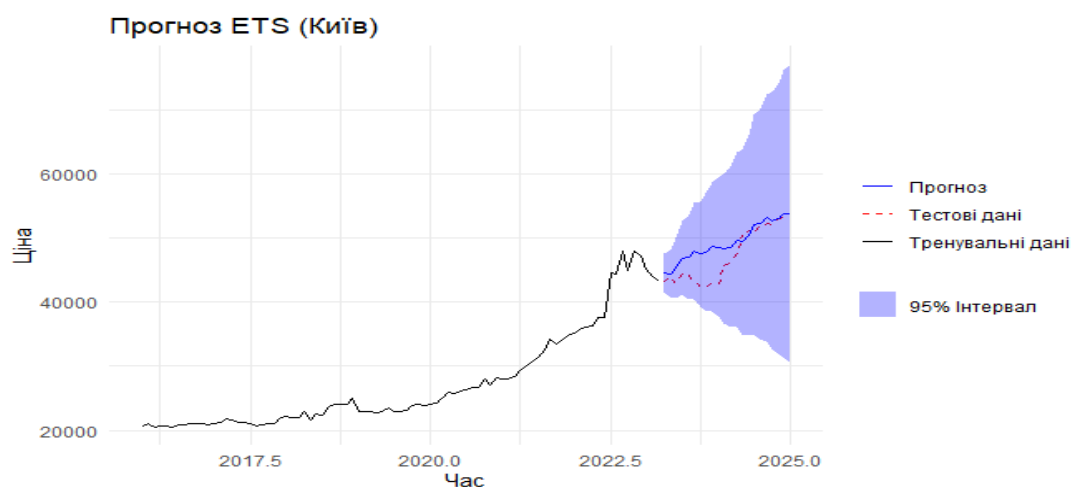


Рисунок 2.10 – Прогнозування за допомогою ETS моделі на тестових даних для міста Київ

Джерело: розроблено автором на основі [33-37]

Для перевірки на нормальний розподіл залишків застосовано тест Шапіро-Вілکا (рис. 2.11), який показав наближеність до нормального розподілу, оскільки значення W та p -value перевищують пороговий рівень 0,05.

```
shapiro-wilk normality test

data: residuals_kyiv
W = 0.91787, p-value = 0.06867
```

Рисунок 2.11 – Перевірка залишків моделі ETS для міста Київ на тестових даних

Джерело: розроблено автором на основі [33-37]

Результати прогнозу на тестовій вибірці для часового ряду міста Львів дещо відрізняються від попереднього прогнозу. Числові метрики якості показали такі результати: RMSE становить 33844, MAE – 27856, що свідчить про надто високу середню абсолютну похибку, MAPE – 59% означає помилку більше ніж на половину, AIC – 1595. На зображеному графіку (рис. 2.12) прогноз має чіткий спадний тренд, що не відповідає реальній динаміці тестових значень. Отже, модель не змогла врахувати структуру часового ряду. Довірчий інтервал розширюється із часом і вказує на сильну невизначеність на кінцевих значеннях. На цьому етапі можна визначити цей прогноз неприйнятним через надмірно високі значення критеріїв оцінки та результати, які відображено на графіку.

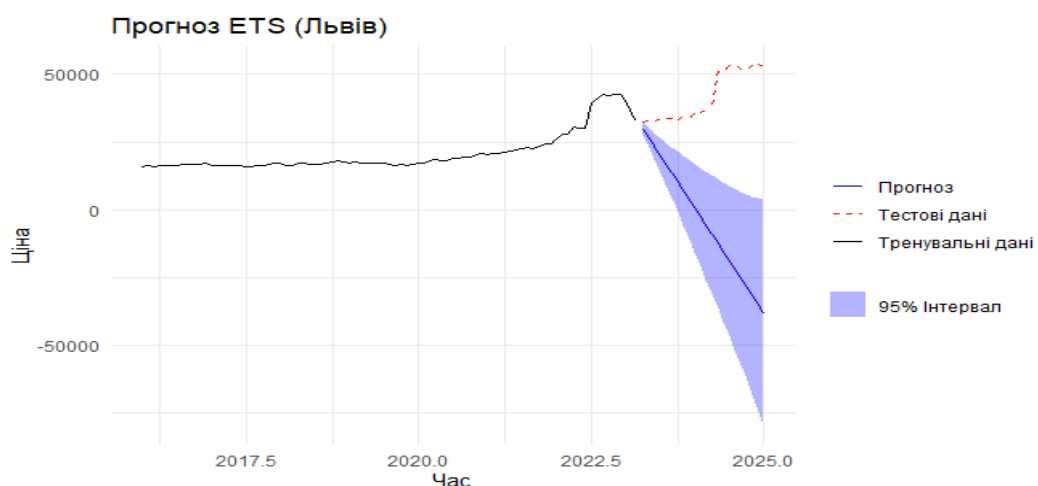


Рисунок 2.12 – Прогнозування за допомогою ETS моделі на тестових даних для міста Львів

Джерело: розроблено автором на основі [33-37]

Проведений тест на аналіз розподілу залишків (рис. 2.13) показав суттєве відхилення від нормального розподілу. На основі цього, можна зробити висновок, що модель міста Львів не можна вважати статистично значущою і використовувати надалі для прогнозування.

```
shapiro-wilk normality test

data: residuals_lviv
W = 0.89011, p-value = 0.01894
```

Рисунок 2.13 – Перевірка залишків моделі ETS для міста Львів на тестових даних

Джерело: розроблено автором на основі [33-37]

Місто, яке розташоване у східній частині країни та потрапляє під часті обстріли – Харків. RMSE є вищим ніж для міста Київ та дорівнює 4707, MAE – 4604, MAPE – 15%. Критерій AIC складає 1664 і вказує на більшу складність моделі нижче узгодження з даними в порівнянні з іншими містами. Як видно з графіку (рис. 2.14), модель створює намагання продовжити динаміку цін, але не враховує характер тренду створюючи відхилення від фактичних значень. Довірчий інтервал зростає зі збільшенням періоду як і у випадку моделі міста Київ.

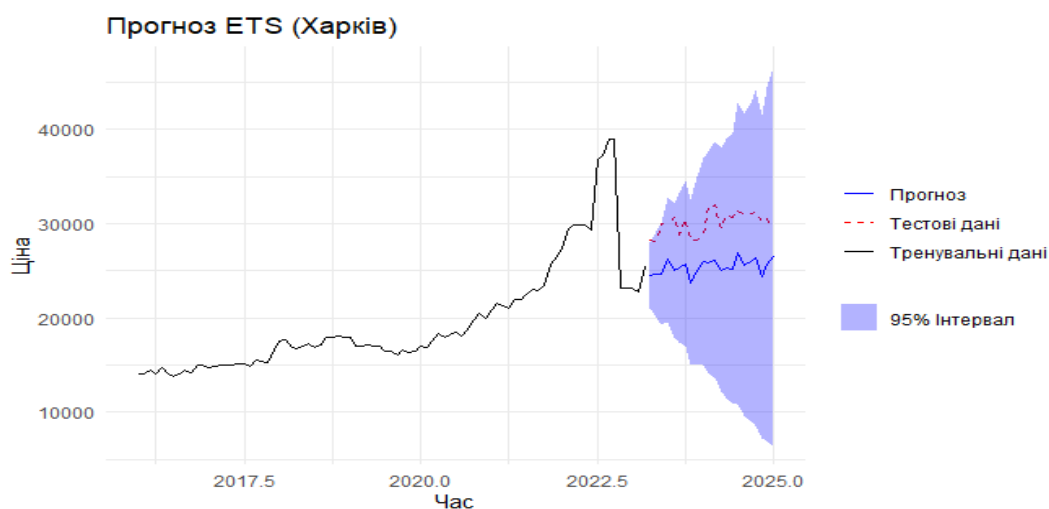


Рисунок 2.14 – Прогнозування за допомогою ETS моделі на тестових даних для міста Харків

Джерело: розроблено автором на основі [33-37]

При перевірці тесту Шапіро-Вілка було визначено, що значення p -value є більшим за 0,05, що дає підстави не відхиляти нульову гіпотезу H_0 і вважати його наближеним до нормального.

```
shapiro-wilk normality test

data: residuals_kharkiv
W = 0.9309, p-value = 0.1281
```

Рисунок 2.15 – Перевірка залишків моделі ETS для міста Львів на тестових даних

Джерело: розроблено автором на основі [33-37]

У таблиці 2.2 наведено показники якості, а в додатку (див. Додаток А) графіки прогнозів усіх побудованих моделей за допомогою ETS. Для міст Вінниця, Івано-Франківськ, Тернопіль, Чернігів та Житомир похибки є найнижчими. Показник критерію Акаїке також підтвердив, що відповідність до даних є однією з найкращих для цих міст. Проте є міста, де значення похибок є сильно вищими, що вказує на більше відхилення від фактичних значень і відповідно меншу точність прогнозу на тестовій вибірці. А саме: Дніпро, Рівне, Запоріжжя Суми і Чернівці. Інші прогнозовані міста показали результати між найвищими та найнижчими значеннями похибок. Отримані результати підтверджують невизначеність у сучасному періоді. У зв'язку із цим, кожне місто відрізняється своєю структурою, коливаннями та рівнем змін у динаміці цін.

Таблиця 2.2 – Порівняння показників якості моделі ETS

Місто	RMSE	MAE	MAPE	AIC
Київ	2950,4	2268,3	5,11	1585
Львів	33844	27586	59	1595
Дніпро	16987	14014	32	1615
Рівне	11511	9511,38	35	1593
Ужгород	4993,7	4485,28	9	1608
Вінниця	1307	1088,15	2,86	1596
Харків	4707	4604	15	1664
Запоріжжя	5656	4671,2	17,2	1603
Одеса	3249	2941	8	1644
Суми	5519,81	4860,23	18,8	1427
Чернівці	6548	5174	15	1621
Івано-Франківськ	1672	1286	4	1501
Полтава	4739	4401,82	13,7	1596
Тернопіль	2088	1985	7,9	1428
Чернігів	1644	1179,52	4,6	1537

Кінець таблиці 2.2

Миколаїв	3405,42	3076,67	11	1589
Житомир	1274,24	978,21	3,57	1540
Черкаси	3161,11	2567	9	1446
Луцьк	3093	2948	9	1437

Джерело: розроблено автором на основі [33-37]

Другою використаною моделлю для прогнозування медіанної ціни на нерухомість є модель SARIMA. Оптимальними параметрами для побудови моделі даних міста Київ було визначено параметри SARIMA(1,1,1)(1,1,1)[12]. Метрики вказують на доволі сильне відхилення від фактичних значень, особливо різницю видно порівнюючи результати з ETS прогнозом на тестовій вибірці, де вони є набагато нижчими. Середньоквадратичне відхилення склало 5666,9, а середня абсолютна похибка – 4838 одиниць. MAPE та AIC також вказують на вищі значення. Лінія прогнозу на тестовій вибірці відрізняється від лінії тестових даних (рис. 2.16), тред має схожу динаміку, але сезонні коливання враховуються не вірно. Довірчий інтервал 95% також підсилює висновок щодо не найвищої прогностичної здатності моделі в порівнянні з іншою моделлю.

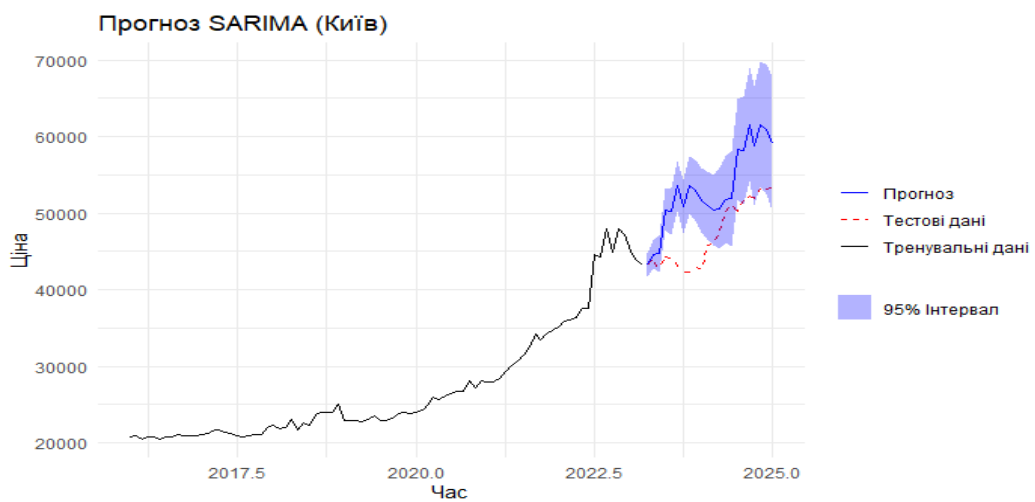


Рисунок 2.16 – Прогнозування за допомогою SARIMA моделі на тестових даних для міста Київ

Джерело: розроблено автором на основі [33-37]

Проведений аналіз розподілу залишків та автокореляції для SARIMA за допомогою тестів Шапіро-Вілка та Критерію Льюнга-Бокса, свідчить про

наближений до нормального розподіл, а також про відсутність значущої автокореляції (рис. 2.17)

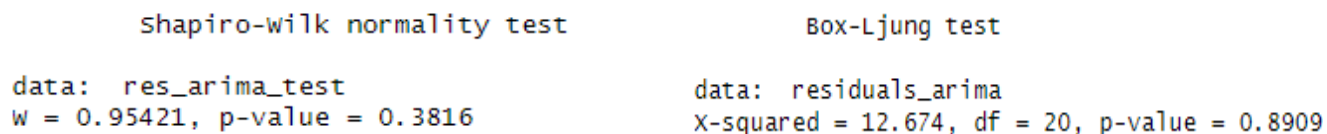


Рисунок 2.17 – Перевірка залишків моделі SARIMA для міста Київ на тестових даних

Джерело: розроблено автором на основі [33-37]

У випадку із SARIMA для даних міста Львів оптимальними параметрами для побудови виявилися $(1,1,1)(0,1,1)[12]$. На відміну від ETS моделі, дана модель показала значно кращі результати. За основними метриками точності RMSE дорівнює 9839,64, MAE – 7621,32 та MAPE – 16%. AIC також виявився відчутно нижчим, це вказує на краще узгодження із даними. Однак, наведений на графіку прогноз (рис. 2.18) демонструє абсолютне не співпадіння з тестовою вибіркою, а зображений довірчий інтервал для всього прогнозованого періоду має високі значення.

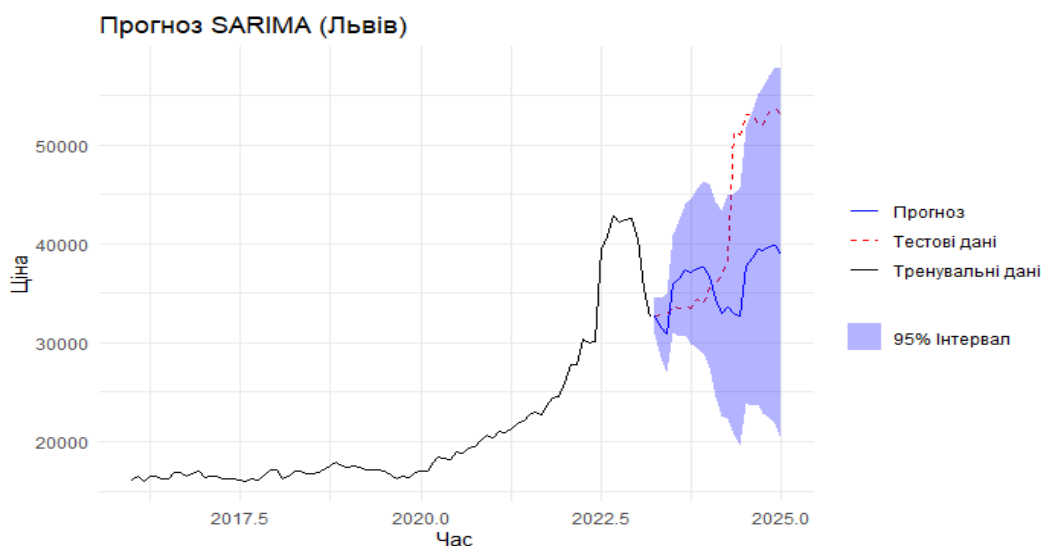


Рисунок 2.18 – Прогнозування за допомогою SARIMA моделі на тестових даних для міста Львів

Джерело: розроблено автором на основі [33-37]

Залишки моделі сильно відхиляються та не дають підстав для визначення його нормально розподіленим. Критерій перевірки на автокореляцію в залишках

моделі показує її відсутність (рис. 2.19). Отже модель обґрунтовано можна вважати статистично незначущою не дивлячись на відсутність автокореляції в залишках.

```

shapiro-wilk normality test
data: res_arima_test_lviv
W = 0.85802, p-value = 0.004722

Box-Ljung test
data: residuals_arima_lviv
X-squared = 21.346, df = 20, p-value = 0.3771

```

Рисунок 2.19 – Перевірка залишків моделі SARIMA для міста Львів на тестових даних

Джерело: розроблено автором на основі [33-37]

Для міста Харків прогноз за допомогою SARIMA з параметрами $(1,1,1)(0,1,1)[12]$ має дещо нижчі похибки ніж отриманий за допомогою ETS методу. Похибка RMSE відхиляється на 4680, MAE – 3914,84, а MAPE склав 13%, що нижче на 2%. Критерій Акаїке також є нижчим – 1359 і вказує на кращу відповідність моделі до даних. Графічне представлення результату (рис. 2.20) підтверджує, що хоча наведені метрики оцінки якості покращились, прогнозна лінія сильно відхиляється від тестової, а довірчий інтервал відображає збереження сильного розкиду значень.

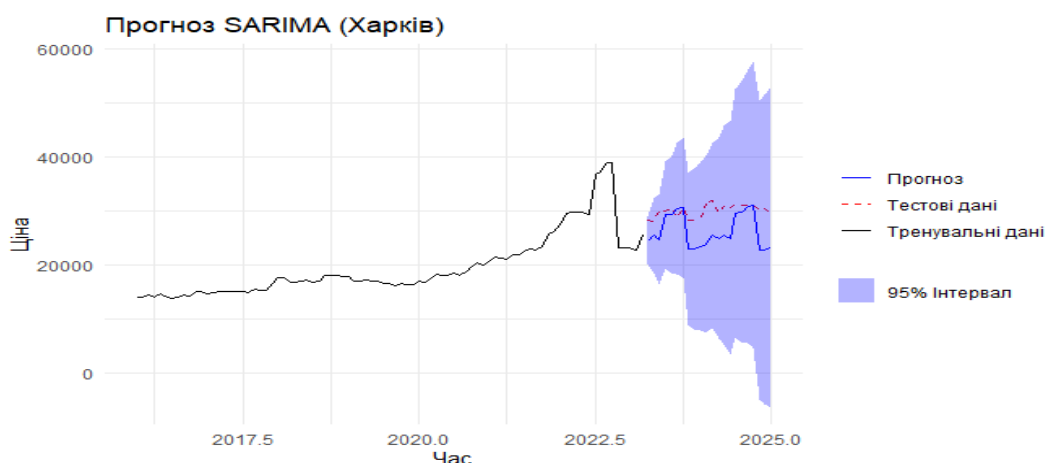


Рисунок 2.20 – Прогнозування за допомогою SARIMA моделі на тестових даних для міста Харків

Джерело: розроблено автором на основі [33-37]

Перевірка залишків створеної моделі (рис. 2.21) свідчить про наближеність залишків до нормального розподілу та відсутність автокореляції в залишках, тому модель можна використати для прогнозу на майбутній період.

shapiro-wilk normality test	Box-Ljung test
data: res_test_kh w = 0.93319, p-value = 0.1429	data: res_in_kh x-squared = 16.874, df = 20, p-value = 0.6611

Рисунок 2.21 – Перевірка залишків моделі SARIMA для міста Харків на тестових даних

Джерело: розроблено автором на основі [33-37]

Виходячи з проведеного аналізу створених моделей, їх графічного представлення (див. Додаток Б), а також показників точності, які наведені в таблиці (Таблиця 2.3), SARIMA виявилась більш придатною до створення прогнозу в складних для країни умовах серед використаних методів. Статистично значущими виходячи з тесту Шапіро-Вілکا є моделі для міст: Київ, Рівне, Ужгород, Вінниця, Харків, Запоріжжя, Суми, Івано-Франківськ, Полтава, Тернопіль, Хмельницький, Чернігів, Миколаїв, Житомир, Черкаси, Луцьк. Для міст Хмельницький, Тернопіль, Черкаси, Полтава, Суми, Чернівці значення похибок є нижчими ніж в моделі експоненціального згладжування, так само як і критерій AIC.

Таблиця 2.3 – Порівняння показників якості моделі SARIMA

Місто та параметри SARIMA	RMSE	MAE	MAPE	AIC
Київ (1,1,1)(1,1,1)[12]	5666,9	4838,28	10,48	1265,4
Львів (1,1,1)(0,1,1)[12]	9839,64	7621,32	16	1292
Дніпро (2,1,1)(0,1,1)[12]	6835,9	6105,23	14,7	1296,5
Рівне (2,1,2)(2,2,1)[12]	6667,5	5701,21	24	1124
Ужгород (1,1,1)(0,1,1)[12]	2322	1824,64	3,7	1311,2
Вінниця (2,1,1)(0,1,1)[12]	1800,4	1522	4	1263
Харків (1,1,1)(0,1,1)[12]	4680	3914,84	13	1359
Запоріжжя (2,1,1)(2,1,2)[12]	8605,7	7001,84	26	1281,2
Одеса (2,1,2)(2,1,1)[12]	4823,7	4373	12,4	1311,25
Суми (2,1,1)(1,1,1)[12]	5385,25	4537,33	17,5	1162
Чернівці (2,2,2)(2,1,1)[12]	5011,45	3960	12,4	1303
Івано-Франківськ (3,2,2)(1,1,1)[12]	1707,4	1370,62	4,4	1167,55
Полтава (1,1,1)(2,1,1)[12]	4109,23	3700,6	11,5	1266
Тернопіль (2,2,1)(2,1,1)[12]	1133,54	895,6	3,7	1116
Хмельницький (1,1,1)(2,1,1)[12]	1107	999,13	4	1081
Чернігів (1,1,1)(2,1,1)[12]	3801,9	3103,56	11,1	1249,8
Миколаїв (2,1,1)(1,1,1)[12]	7563	6712,35	23,4	1287
Житомир (2,1,2)(1,1,1)[12]	1212,71	881,6	3,2	1211
Черкаси (2,1,2)(2,1,1)[12]	2072	1600,8	5,6	1119
Луцьк (2,1,2)(2,1,1)[12]	3166,73	2997,84	9,1	1143,5

Джерело: розроблено автором на основі [33-37]

Після здійснення прогнозування на довжині тестової вибірки що дозволило порівняти фактичні та прогнозовані значення на основі методів ETS і SARIMA.

Попередні висновки щодо результатів для кожної моделі, а саме графічне порівняння прогнозів, оцінка метрик якості, аналіз розподілу залишків, дають змогу виявити більш точний з наведених методів, для передбачення на майбутній період показників медіанної ціни за квадратний метр нерухомості. Загалом, обидві зазначені моделі мають не найкращу здатність до прогнозування на майбутній період, ETS модель має вищі похибки від фактичних значень, а статистично значущими є 11 моделей. Тоді як SARIMA вдало прогнозує 16 моделей при переважно нижчих значеннях. Отже, в цьому випадку моделі сезонного авторегресійного інтегрованого ковзного середнього є компромісом між точністю та впевненістю в прогнозованих значеннях поміж наведених методів.

Після обґрунтованого рішення на користь SARIMA, можна здійснити прогноз медіанної ціни на квадратний метр нерухомості в умовах сьогодення. Варто зазначити, що до прогнозування придатні не всі міста з набору даних, оскільки деякі з них немає підстав використати через статистичну незначущість моделей, як було визначено при перевірці залишків на відповідність нормальному розподілу. Таким чином, прогноз на наступні 6 місяців буде включати такі міста як: Київ, Рівне, Ужгород, Вінниця, Харків, Запоріжжя, Суми, Івано-Франківськ, Полтава, Тернопіль, Хмельницький, Чернігів, Миколаїв, Житомир, Черкаси, Луцьк.

Прогнозовані значення медіанної ціни в місті Київ демонструють поступове зростання протягом всього періоду. Згідно отриманих значень, які наведено в таблиці 2.4, починаючи з лютого 2025 року ціна становить 53858,54, тоді як в липні вона досягає значення 56520.20 грн за квадратний метр. Проте межі довірчого інтервалу 95% розширюються з кожним періодом, так на початку періоду інтервал коливається від 51194,43 до 56125.90, тоді як в середині прогнозу різниця між верхньою і нижньою межею склала 9751 одиниць, а в шостому місяці взагалі сягнула 12794,68. Графічне зображення прогнозу (рис. 2.22) демонструє наявність зростаючого тренду із невеликими коливаннями в період травня-квітня місяця, що підтверджує зростання ціни на 805,22 грн за квадратний метр в цей період.



Рисунок 2.22 – Прогнозування за допомогою SARIMA моделі на майбутній період для міста Київ

Джерело: розроблено автором на основі [33-37]

Таблиця 2.4 – Прогнозовані значення ціни на майбутній період 6 місяців для міста Київ

Дата	Медіанна ціна на квадратний метр нерухомості(грн)	Нижня межа довірчого інтервалу 95%	Верхня межа довірчого інтервалу 95%
01.02.2025	53 858	51 591	56 125
01.03.2025	54 209	51 194	57 223
01.04.2025	54 787	50 679	58 896
01.05.2025	55 593	50 717	60 468
01.06.2025	55 826	50 115	61 537
01.07.2025	56 520	50 122	62 917

Джерело: розроблено автором на основі [33-37]

Прогноз для міста Харків характеризується помірним зростанням медіанної ціни на квадратний метр протягом всього періоду. За період прогнозу ціна (див. Таблиця 2.5) зросла з 30100,88 до 32522,55 грн за квадратний метр. При чому значення меж довірчого інтервалу 95% мають надто сильну невизначеність у тому яких значень може набувати ціна. На початку прогнозу різниця між верхньою та нижньою межею становила 8074,82, а під кінець прогнозного періоду склала 19925,49. Наведений графік (рис. 2.23) показує що тренд помірно зростає із різким збільшенням у липні. Отже, такий прогноз не можна вважати інформативним та точним виходячи із значень меж довірчих інтервалів.



Рисунок 2.23 – Прогнозування за допомогою SARIMA моделі на майбутній період для міста Харків

Джерело: розроблено автором на основі [33-37]

Таблиця 2.5 – Прогнозовані значення ціни на майбутній період 6 місяців для міста Харків

Дата	Медіанна ціна на квадратний метр нерухомості(грн)	Нижня межа довірчого інтервалу 95%	Верхня межа довірчого інтервалу 95%
01.02.2025	30 100	26 063	34 138
01.03.2025	30 640	24 905	36 375
01.04.2025	30 889	23 854	37 923
01.05.2025	31 157	23 029	39 286
01.06.2025	31 357	22 265	40 449
01.07.2025	32 522	22 559	42 485

Джерело: розроблено автором на основі [33-37]

Графічне представлення прогнозу на майбутній період та таблиці із прогнозованими значеннями для інших міст наведено в додатку (див. Додаток В). Загалом, точність прогнозування на основі моделі SARIMA виявилася низькою. Прогнози більшості міст супроводжуються доволі високим значенням меж довірчого інтервалу, що вказує на низьку точність і непридатність таких прогнозів для передбачення майбутньої динаміки та прийняття буд-яких рішень на їх основі. А форма прогнозу майже у всіх випадках має висхідний характер, де винятком є міста Рівне, Чернігів та Черкаси, для яких на кінці прогнозного періоду спостерігається тенденція до зниження.

Однак, при дослідженні прогнозів окремих міст – Тернопіль, Суми, Івано-Франківськ, Хмельницький, Житомир та Луцьк, було визначено помітно нижчу різницю в межах якої коливається прогнозоване значення, в середньому вдвічі

меншу за інші випадки. Що свідчить про більшу стабільність динаміки цін у цих містах та якісніші прогнози. Проте, навіть у цих випадках рівень точності не можна вважати достатнім для практичного застосування і висновків на основі цих моделей.

Підсумовуючи, отримані результати є відображенням реального становища на ринку нерухомості країни. Невизначеність і переважно високі значення похибок, що присутні в кожному прогнозі спричинені об'єктивними, непередбачуваними та пов'язаними між собою подіями в середні країни. Як з'ясувалось в результаті моделювання, класичні економетричні моделі прогнозування часових рядів не мають достатніх можливостей, щоб із точністю передбачити значення ціни на ринку нерухомості міст України. Переважна більшість міст природно поділилась дві групи, де перша – міста в яких спостерігається сплеск та неочікуване підняття цін з порівняно стабільним довоєнним періодом, а друга – міста, де прогнозоване значення ціни спадає. В сучасних умовах точна і надійна модель прогнозу за допомогою використаних методів, як видно з проведеного прогнозування неможлива через адаптованість моделей до лінійної залежності та більш сталих процесів. Такий результат підводить до покращення наявних або застосування інших, не застосованих під час дослідження, більш просунутих методів прогнозування. Яскравим прикладом одного з підходів, який не було застосовано, може слугувати метод прогнозування із використанням нейронних мереж, які мають методологічно інший підхід до прогнозування, але можуть виявитись кращою альтернативою для такої тематики.

2.3 Моделювання впливу макроекономічних факторів на ціну

Перед початком побудови та перевірки моделі необхідно розглянути матрицю кореляцій, щоб дослідити кореляцію між визначеними макроекономічними факторами та ціною. Згідно отриманих результатів (рис. 2.24), найвищий ступінь кореляції з показником ціни за метр квадратний мають Курс гривні до долара США, Заробітна плата та ВВП. Такий зв'язок вказує на сильний вплив змін економічної ситуації в країні на динаміку ринку нерухомості. Натомість Індекс споживчих цін та Облікова ставка НБУ мають позитивну, але відносно слабку кореляцію з ціною. Також було помічено тісний зв'язок між самими макроекономічними показниками – ВВП, Курсом гривні до долара США та Середньою заробітною платою, що свідчить про наявність мультиколінеарності в наборі даних між пояснювальними змінними. Це, в свою чергу, вказує на потребу у використанні регресійної моделі з регуляризацією рівня L1 або L2, яка дозволить зменшити вплив явища і забезпечить достовірність моделі.

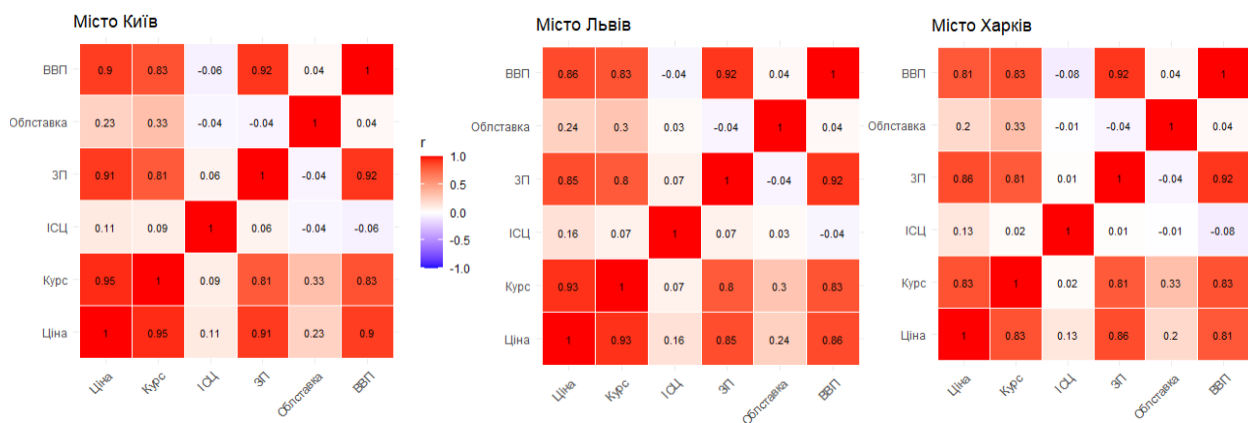


Рисунок 2.24 – Матриці кореляцій для міст Київ, Львів та Харків

Джерело: розроблено автором на основі [33-37]

Для прогнозування динаміки медіанних цін на квадратний метр в Україні є модель Ridge-регресії. Причиною вибору, стала наявність сильної кореляції між пояснювальними змінними, що видно з матриці кореляцій. Тож для уникнення

проблеми мультиколінеарності, яка може значно погіршити якість майбутніх прогнозів, доцільніше обрати один з видів лінійної регресії з регуляризацією – LASSO або Ridge. Оскільки кожна обрана змінна має економічну обґрунтованість її включення, LASSO не є кращим вибором через те що модель зводить до нульових значень коефіцієнти, які мають відносно низький вплив на цільову змінну. Ridge в цьому випадку підходить краще, адже модель зменшує варіацію коефіцієнтів, залишаючи їх в моделі.

Модель створена для столиці України з автоматично підібраним оптимальним параметром регуляризації λ через крос-валідацію, включенням макроекономічних показників має значення RMSE 2864,34, MAE склав 2327,91, а MAPE 4,97%. Критерій Акаїке свідчить про відносно низьку складність моделі. Значення $R^2 = 0,53$, тобто модель пояснює 53% коливань включеними макроекономічними. Це підтверджує їх вплив на динаміку цін в місті Київ, однак 47% пояснюється іншими факторами, які не було включено в модель. На графіку (рис. 2.25) лінія прогнозу набліжена до тестової, але не враховує більшість коливань, де відбувається зниження тренду. Довірчий інтервал має сильний розмах, який вказує на сильну невизначеність.

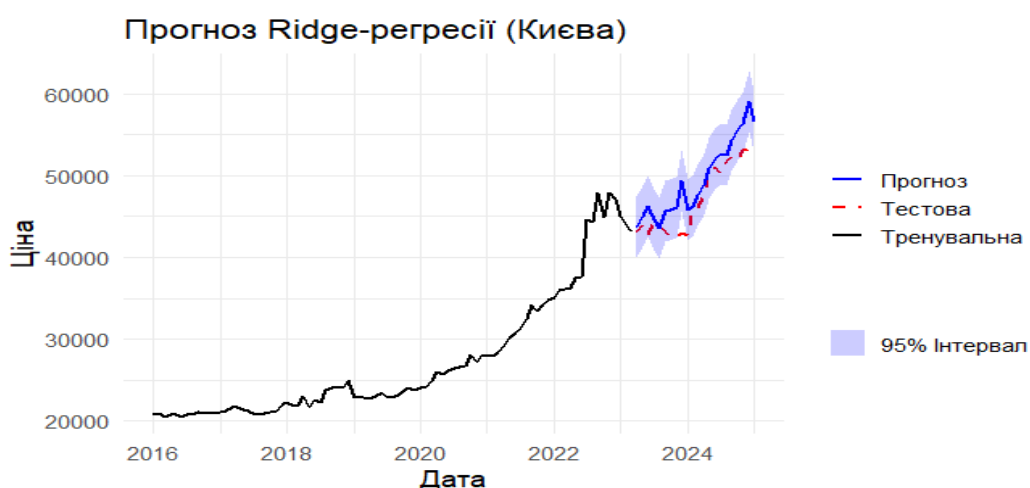


Рисунок 2.25 – Прогнозування за допомогою Ridge моделі на тестових даних для міста Київ

Джерело: розроблено автором на основі [33-37]

Перевірка залишків моделі на відповідність нормальному розподілу показала, що модель можна вважати статистично значущою, оскільки розподіл є наближеним до нормального

```
shapiro-wilk normality test

data: residuals_test
W = 0.94181, p-value = 0.2156
```

Рисунок 2.26 – Перевірка залишків моделі Ridge для міста Київ на тестових даних

Джерело: розроблено автором на основі [33-37]

Розглянемо коефіцієнти отримані після прогнозу для дослідження їх впливу на залежну змінну, які наведено в таблиці (Таблиця 2.6).

Таблиця 2.6 – Коефіцієнти впливу макроекономічних факторів в моделі Ridge для міста Київ

Фактор	Коефіцієнт
Курс гривні до долара США	972,23
ІСЦ	853,3
Заробітна плата	69,32
Облікова ставка НБУ	305,35
ВВП	0,00457

Джерело: розроблено автором на основі [33-37]

З таблиці видно, що найбільший вплив на ціну чинить курс, ІСЦ та облікова ставка НБУ. В той час як заробітна плата має слабку пряму залежність між доходами населення та вартістю квадратного метра, а ВВП майже не має зв'язку із коливанням цін. Такий результат пояснюється тим, що в умовах мультиколінеарності Ridge регресія приглушує вплив надлишкових змінних, зменшуючи їхні коефіцієнти до дуже малих значень. Вірогідно, вплив ВВП перекривається змінними ІСЦ та Курс, які вже відображають загальний економічний контекст.

Для міста Львів, значення похибок є значно вищими ніж для Києва. Так значення використаних метрик склало: RMSE – 5916,84, MAE – 5360,8, а MAPE – 12,67% та вказує на відчутне відхилення від фактичних значень. Коефіцієнт детермінації склав 0,57, що означає пояснення варіації ціни на рику цього міста Курсом валют, рівнем інфляції, значенням облікової ставки та рівнем заробітної

плати на 57%. Згідно з графіком (рис. 2.26), модель враховує загальну тенденцію до збільшення цін, але не забезпечує достатньо точного відтворення, що підтверджує необхідність більшої кількості факторів. Довірчий інтервал зображений на рисунку вказує на сильне коливання значення прогнозу.

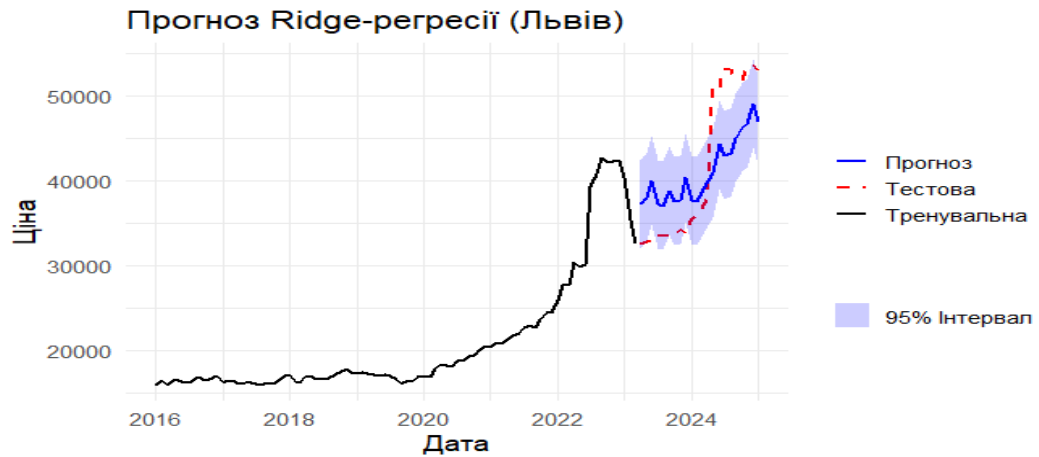


Рисунок 2.27 – Перевірка залишків моделі Ridge для міста Львів на тестових даних

Джерело: розроблено автором на основі [33-37]

Згідно результатів тесту Шапіро-Вілکا (рис. 2.27), модель виявилась статистично незначущою через те що значення p-value є значно нижчим ніж 0,05.

```
shapiro-wilk normality test
data: residuals_test
W = 0.87081, p-value = 0.008104
```

Рисунок 2.27 – Перевірка залишків моделі SARIMA для міста Львів на тестових даних

Джерело: розроблено автором на основі [33-37]

Коефіцієнти моделі та їх вплив на змінну ціни наведено в таблиці (Таблиця 2.7). Включені макроекономічні для міста Львів мають майже однаковий вплив. Через що коефіцієнт детермінації є схожим для обох міст. Таким чином значущо впливають курс гривні до долара США, індекс споживчих цін та рівень облікової ставки.

Таблиця 2.7 – Коефіцієнти впливу макроекономічних факторів в моделі Ridge для міста Львів

Фактор	Коефіцієнт
Курс гривні до долара США	977,62
ІСЦ	855,3
Заробітна плата	69,32
Облікова ставка НБУ	305,35
ВВП	0,00521

Джерело: розроблено автором на основі [33-37]

У випадку із містом Харків, значення похибок наближені до результатів, які було отримано для Львова. Середньоквадратична похибка дорівнює 4936,5, а показник MAE та MAPE 3969,52 і 13,17% відповідно. Такі значення показують достатньо високе відхилення від тестових, що вказує на неточність прогнозу. Значення R^2 є дуже низьким і становить 0,134, що свідчить про майже відсутню пояснювальну здатність моделі в цьому місті. Таким чином включені в модель фактори не дають змоги створити точний прогноз і не несуть значущого впливу. На наведеному графіку прогнозу (рис. 2.28) видно сильне розширення довірчого інтервалу, а також неможливість моделі повторити характер тестової вибірки, що збігається з висновку щодо метрик оцінки якості моделі.

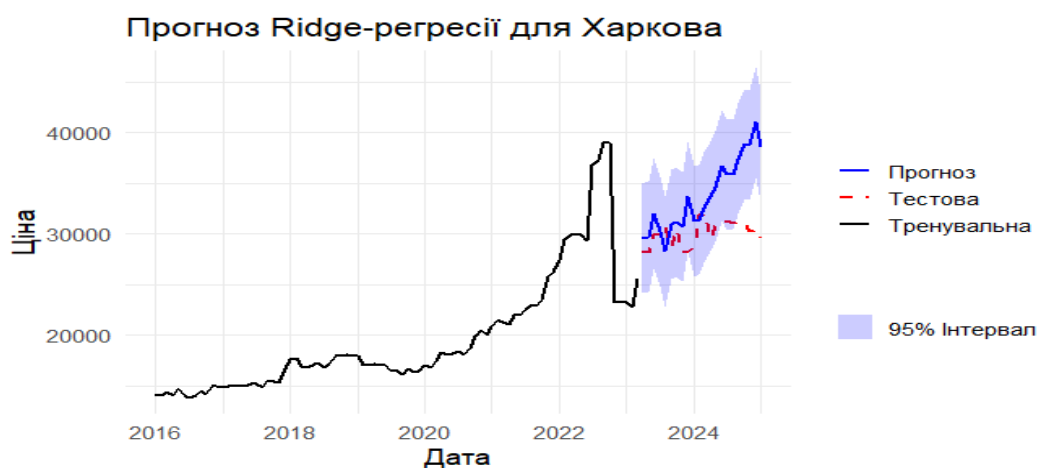


Рисунок 2.28 – Перевірка залишків моделі Ridge для міста Харків на тестових даних

Джерело: розроблено автором на основі [33-37]

Тест на перевірку залишків (рис. 2. 29) показав наближений до нормального розподіл.

shapiro-wilk normality test

```
data: residuals_test
w = 0.98131, p-value = 0.9352
```

Рисунок 2.29 – Перевірка залишків моделі SARIMA для міста Харків на тестових даних

Джерело: розроблено автором на основі [33-37]

Для міста Харків, найбільш впливовим чинником є індекс споживчих цін, який демонструє чутливість ринку до інфляційних процесів. Курс у цьому випадку є менш значущим, в порівнянні із іншими містами, де він відігравав важливішу роль. Вплив облікової ставки є мінімальним, як і рівень заробітної плати та ВВП. Це означає, що динаміка цін у місті Харків зумовлена іншими факторами, окрім наведених.

Таблиця 2.8 – Коефіцієнти впливу макроекономічних факторів в моделі Ridge для міста Харків

Фактор	Коефіцієнт
Курс гривні до долара США	654,25
ІСЦ	841,96
Заробітна плата	0,96
Облікова ставка НБУ	40,67
ВВП	0

Джерело: розроблено автором на основі [33-37]

Загалом, отримані результати (Таблиця 2.9) показали статистичну незначущість моделей для міста Рівне, Одеса, Суми, Івано-Франківськ. Більшість інших моделей мають дуже низьку пояснювальну здатність. Значення коефіцієнтів для всіх міст наведено в додатку (див. Додаток Д). Коефіцієнт детермінації продемонстрував, що значення пояснюється лише 7-30% значень. Однак попри це є статистично значущі моделі, де пояснювальна здатність є вищою від 30% до 71% для міст: Київ, Ужгород, Вінниця, Чернівці, Тернопіль, Миколаїв, Черкаси, Луцьк. В цих містах використані макроекономічні фактори дозволяють пояснити значно більшу кількість вибірки, а отже, створюють більший вплив. А отримані значення похибок також є нижчими для цих міст.

Таблиця 2.9 – Порівняння показників якості моделі Ridge

Місто	RMSE	MAE	MAPE	R^2
Київ	2864,34	2327,91	4,97%	0,53
Львів	5916,84	5360,8	12,67%	0,57
Дніпро	3801,46	3336,56	8%	0,105
Рівне	5857,24	4524,84	25,44%	0,39
Ужгород	2623,94	2187,5	4,44%	0,71
Вінниця	2561,57	2001	5,11%	0,315
Харків	4936,5	3969,52	13,17%	0,134
Запоріжжя	5424,29	4562,58	15,9%	0,125
Одеса	5732,23	5486,2	15,81%	0,134
Суми	2541,7	2196,49	8,61%	0,226
Чернівці	4280,28	2822,19	10,21%	0,448
Івано-Франківськ	5929,16	5470	18,12%	0,175
Полтава	2151,14	1708,14	5,34%	0,275
Тернопіль	1115,51	963,38	3,84%	0,52
Хмельницький	2608	2399,18	9,81%	0,07
Чернігів	4408	4023	14,25%	0,124
Миколаїв	2206,47	1815,3	6,35%	0,491
Житомир	2710,75	2197,61	8,06%	0,107
Черкаси	3526,12	3331,23	12,31%	0,63
Луцьк	5598,75	5497,42	17%	0,318

Джерело: розроблено автором на основі [33-37]

У підсумку, вплив макроекономічних факторів таких як Курс гривні до долара США, Індекс споживчих цін, Середня заробітна плата, Облікова ставка НБУ та Внутрішній валовий продукт є незначним або мінімальним для більшості міст. Містами, де макроекономічні фактори впливають на динаміку та пояснюють частину коливань є Київ, Ужгород, Вінниця, Чернівці, Тернопіль, Миколаїв та Черкаси. У випадку з іншими містами, ступінь пояснення цими факторами є низькою, що означає наявність інших факторів, які не було враховано в моделях. Отже, можна зробити висновок, що ефективність застосування макроекономічних факторів для моделювання ціни, сильно залежить від регіональної специфіки.

Таким чином, для покращення отриманих значень, доцільно було б розширити перелік включених змінних, що враховуватимуть як загальноєкономічні, так і локальні особливості. Оскільки, міграційні потоки всередині країни, індекси будівельної активності, рівень руйнувань або безпеки регіонів могли б суттєво покращити пояснювальну здатність моделей та адаптованість до окремих ринків судячи з виявлених тенденцій. Проте, на жаль,

ці показники не було включено через відсутність статистичних даних або припинення розрахунку цих показників на поточний період.

ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження було здійснено аналіз ринку нерухомості України в сучасних реаліях, основи його функціонування, тенденції сьогодення, які чинять вплив на нього. Виявлено чинники впливу на результати прогнозування. Як результат, було виконано всі поставлені задачі:

- Здійснено аналіз економічних та правових основ функціонування ринку нерухомості. Було визначено основні нормативно-правові акти, які регулюють сегмент його структуру, суб'єктів. Також визначено ключові взаємозв'язки між первинним та вторинним ринком, а саме, обидва ринки пов'язані із регіональними факторами, зростання ціни на одному ринку стимулює попит на іншому, а ціни на вторинному слугують орієнтиром для первинного ринку.
- Проаналізовано основні тенденції на ринку нерухомості та фактори що на нього впливають. У роботі виокремлено ключові зміни, зумовлені воєнними діями, зокрема зміщення забудови в бік безпечніших регіонів, зростання ролі програм фінансування та зміну структури попиту через внутрішню міграцію. Визначено, що макроекономічні чинники такі як інфляція, валютний курс, рівень доходів населення, облікова ставка та ВВП можуть значущо впливати на коливання цін та активність на ринку нерухомості.
- Досліджено методи і моделі прогнозування цін на ринку нерухомості. Під час дослідження визначено основні методи для прогнозування, такі як ETS, SARIMA та Ridge для дослідження впливу макроекономічних факторів. Визначено метрики оцінки якості моделей та тести на точність.
- Проведено огляд динаміки цін за період з 01.01.2016 по 01.01.2025 рр, за яким було визначено основні коливання протягом зазначеного періоду у містах які характеризують західну, центральну та східну частину України – Львові, Києві та Харкові. Найбільш стабільним періодом виявлено 2016-2018рр., а періодом максимально швидкої зміни цін 2022 - 2025рр.

- Створено, перевірено на точність та побудовано прогноз на основі найбільш точної моделі прогнозування часових рядів динаміки цін на ринку нерухомості. Було створено моделі для міст на основі ETS та SARIMA моделі. SARIMA виявилась найбільш точною, спрогнозувавши 16 міст із статистично значущими результатами. А прогноз на майбутній період 6 місяців показав збільшення медіанної ціни впродовж всіх місяців з високим ступенем невизначеності, що ставить під сумнів практичне застосування і можливість робити обґрунтовані рішення на їх основі .
- Побудовано модель для перевірки значущості впливу макроекономічних змінних, оцінено її точність. В результаті було підтверджено значущий вплив макроекономічних факторів курс гривні до долара США, індекс споживчих цін та відсоткова ставка НБУ на ціну за квадратний метр нерухомості для низки міст, такими є Київ, Ужгород, Вінниця, Чернівці, Тернопіль, Миколаїв та Черкаси. Водночас для більшості інших міст пояснювальна здатність моделі виявилась низькою, що свідчить про необхідність врахування додаткових регіональних факторів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Biletskyi I., Doroshenko H. Analysis of the current state and main trends in the real estate market of Ukraine. *Baltic Journal of Economic Studies*. 2022. №5, vol. 8. P.49-57.
2. Dobrovolska, O., & Fenenko, N. Forecasting Trends in the Real Estate Market: Analysis of Relevant Determinants. Financial Markets. *Institutions and Risks*. 2024. №3, vol 8. P.227-253.
3. Yakubovsky V., Zhuk K., Ankudovych M. Statistical analysis of main determinant's role in the value formation of residential property assets in Ukraine. *International Science Journal of Management, Economics & Finance*. 2024. Vol. 3. P. 36-57.
4. Шмигель А. і Шульга Н. Факторний аналіз ринку житла в Україні (2003–2023). *Scientia fructuosa*. 2023. №151(5). С. 123–138.
5. Бондаренко Л., Ляшенко Я. Застосування методів аналізу часових рядів для прогнозування ціноутворення на ринку нерухомості. Науковий журнал «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво», 2023. Випуск 114. Частина 1. С. 233-240
6. Faaiz A., Jeyanthi R.. House Price Prediction using SARIMA and VAR model, *international journal of engineering research & technology (IJERT)*. 2022. Vol 11. Issue 04.
7. Цивільний кодекс України : станом на 16 січ. 2003 р. / Верховна Рада України. Офіційний Вісник України. 2003. № 435-IV. Ст. 181.
8. Земельний кодекс України : Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2002. № 3-4. Ст. 27.
9. Оцінка та управління нерухомістю: навчальний посібник / Кучеренко В. Р., Заєць М. А., Захарченко О. В. та ін. Одеса: Видавництво ТОВ «Лерадрук». 2013. 272 с.
10. Давиденко Н.М., Воронченко О.В. Сутність та закономірності розвитку ринку нерухомості в Україні. *Інвестиції: практика та досвід*. 2017. №21. С. 5-7.

11. Ключка О., Лісовська А. Класифікація та структура сучасного ринку нерухомості як складової фінансового ринку. *Економіка та суспільство*. 2023. 57.
12. Закон України «Про регулювання містобудівної діяльності» : Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2011, № 34, ст. 343.
13. Закон України «Про державну реєстрацію речових прав на нерухоме майно та їх обтяжень» : Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2004, № 51, ст. 553.
14. Світовий банк. Оновлена оцінка потреб України на відновлення та відбудову. URL: <https://www.worldbank.org/uk/news/pressrelease/2024/02/15/updated-ukraine-recovery-and-reconstruction-needs-assessment-released>
15. Дослідження інтернет видавництва Liga.net. Руйнування в цифрах: скільки Росія знищила об'єктів та скільки виділили на відбудову. URL: <https://www.liga.net/ua/infographic-of-the-day/articles/ruinuvannia-v-tsyfrakh-skilky-rosiia-znyshchyla-obiektiv-ta-skilky-vydilyly-na-vidbudovu>
16. Інформаційно-обчислювальний центр Мінсоцполітики. Аналітика: Внутрішньо переміщені особи. URL: <https://www.ioc.gov.ua/analytics/dashboard-vpo>
17. Закон України «Про іпотеку» : Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2003, № 38, ст. 313.
18. Портал Дія. «Оселя». URL: <https://eoselia.diia.gov.ua/>
19. Приват банк. Державна програма іпотечного кредитування «Оселя» URL: <https://privatbank.ua/kredyty/e-oselya>
20. Статистика ЛУН. Статистика первинки, вторинки та оренди. URL: <https://lun.ua/misto/stat/kyiv#buildings>
21. Закон України «Про внесення змін до Податкового кодексу України та деяких законів України щодо підтримки позичальників, майно яких було знищено або зазнало пошкоджень внаслідок збройної агресії Російської Федерації проти України» : Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2023, № 29, ст. 110.
22. Юнькова О.О., Кучер П. Моделювання та прогнозування товарних ринків на основі методу декомпозиції. Моделювання та інформаційні системи в економіці. 2021. № 101. С. 182-191.

23. Guo,Z. Research on the Augmented Dickey-Fuller Test for Predicting Stock Prices and Returns. *Advances in Economics. Management and Political Sciences*. 2023. P. 101-106.
24. Hyndman R. J., Athanasopoulos G. *Forecasting: Principles and Practice*. 2nd ed. Melbourne, Australia: OTexts, 2018.
25. Uyanto S. Power Comparisons of Five Most Commonly Used Autocorrelation Tests. *Pakistan Journal of Statistics and Operation Research*. 2020. № 1, vol 16. P. 119 – 130.
26. Yang S., Berdine G. Normality tests. *The Southwest Respiratory and Critical Care Chronicles*. 2021.Vol 9. P. 87-90.
27. Arnastauskaitė J, Ruzgas T., Bražėnas M. An Exhaustive Power Comparison of Normality Tests. *Mathematics*. 2021. Vol 9, 788.
- 28.Шумська С. Макроекономічне прогнозування : навчальний посібник: у двох ч. / С. С. Шумська. К. : Видавничий дім «Києво-Могилянська академія», 2015. Ч. 1.176 с.
29. Fabozzi, F. J., Focardi, S. M., Rachev S. T. and Arshanapalli, B.G. Appendix E: Model Selection Criterion: AIC and BIC. *The Basics of Financial Econometrics* (eds F.J. Fabozzi, S.M. Focardi, S.T. Rachev and B.G. Arshanapalli). Hoboken, NJ:Wiley. 2014.
30. Gorgees H. M., Mahdi F. A. Comparative performance of forecasting techniques for housing price prediction. *Journal of Physics: conference Series*. 2018. Vol.1003.
31. Nakatsu R. Validation of machine learning ridge regression models using Monte Carlo, bootstrap, and variations in cross-validation. *Journal of Intelligent Systems*. 2023. Vol. 32.
32. Kmytiuk T., Majore G., Bilyk T. Time series forecasting of price of the agricultural products using data science. *Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal*. 2024. № 3, vol. 10. P. 5–33.
33. Статистика M2bomber. Статистика цін на нерухомість URL: <https://ua.m2bomber.com/stat>

34. Портал відкритих даних. Державна служба статистики: 170. Індекси споживчих цін за регіонами. URL: <https://data.gov.ua/dataset/10610b03-8e61-4429-8763-d3fad6a9ffde/resource/be6438f9-8d41-488f-a4e8-dedd0217a03f>

35. Пенсійний фонд України. Дані про розмір середньої заробітної плати для обчислення пенсії. URL: <https://www.pfu.gov.ua/statystyka/pokazniki-serednoyi-zarobitnoyi-plat/>

36. Національний банк України. Облікова ставка Національного банку. URL: <https://bank.gov.ua/ua/monetary/archive-rish>

37. Національне антикорупційне бюро України. Макроекономічні показники. ВВП України за роками. URL: <https://nabu.ua/ua/vvp-2.html>

ДОДАТКИ

Додаток А

Графічні зображення прогнозів ETS

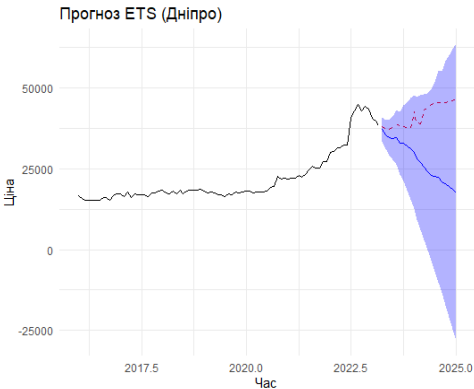


Рисунок А.1

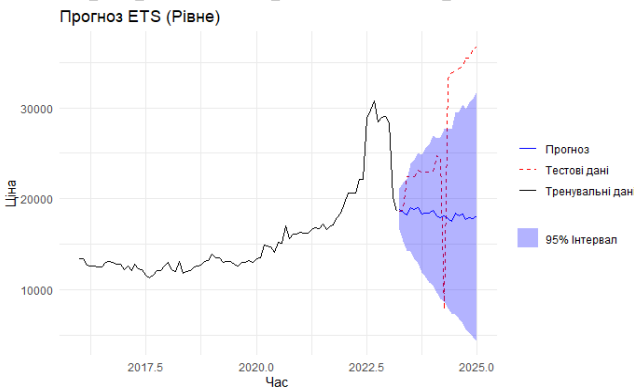


Рисунок А.2

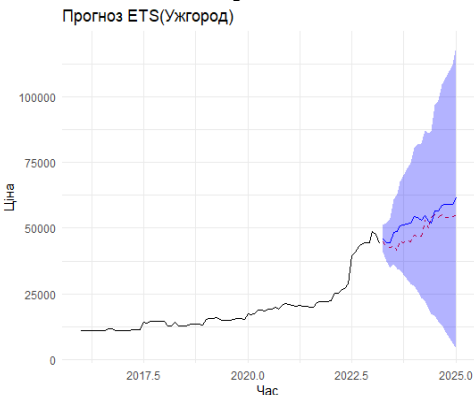


Рисунок А.3

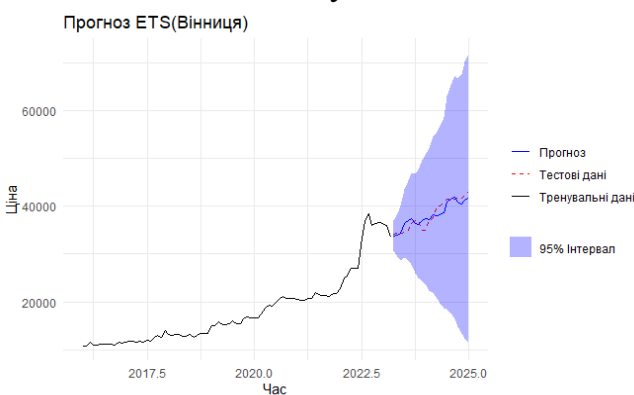


Рисунок А.4

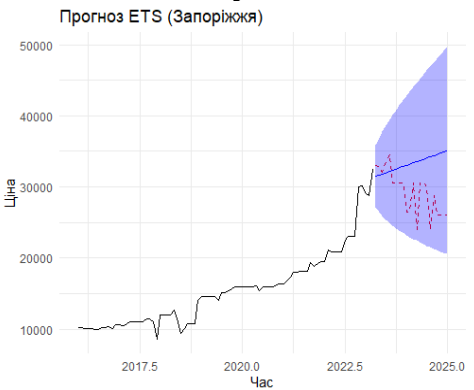


Рисунок А.5

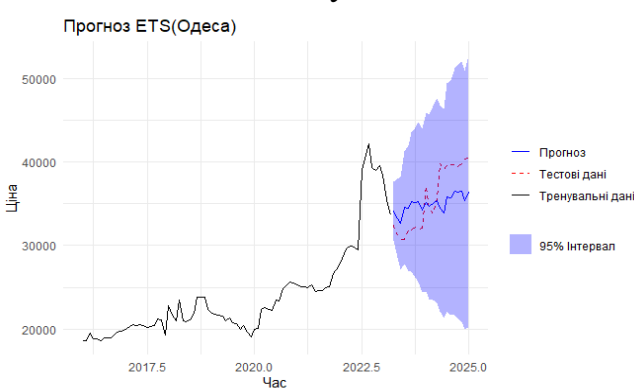


Рисунок А.6

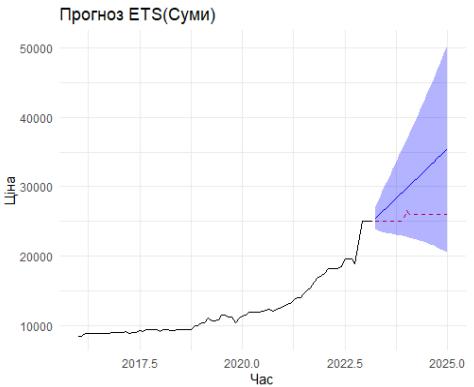


Рисунок А.7

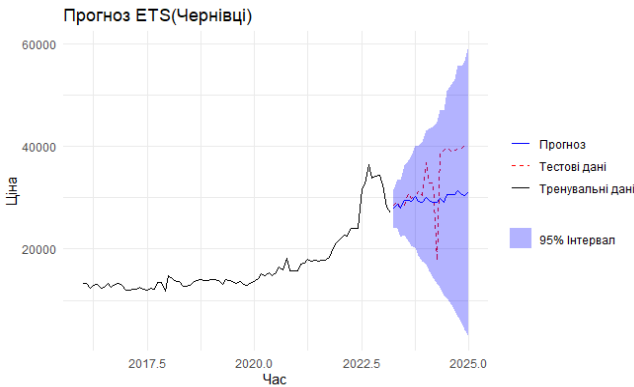


Рисунок А.8

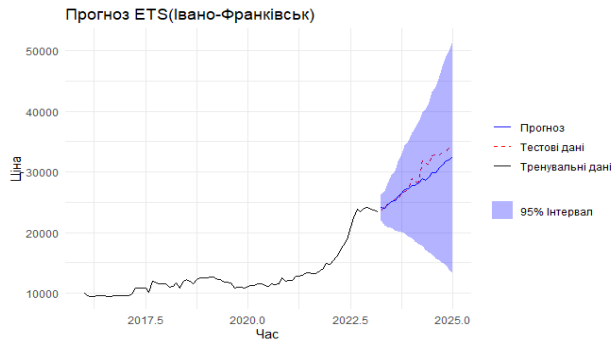


Рисунок А.9

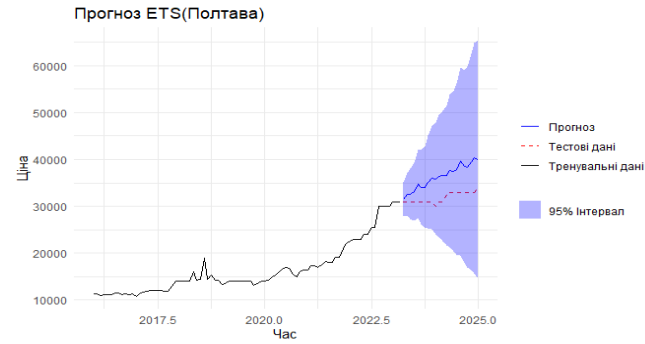


Рисунок А.10

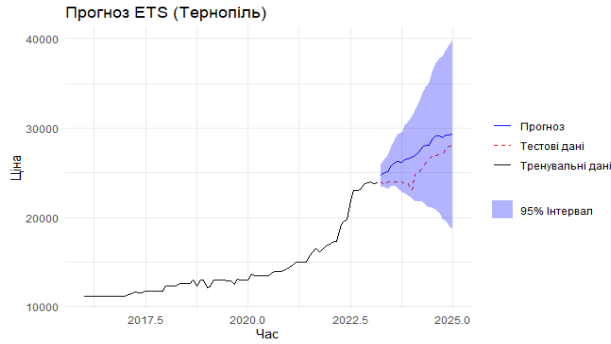


Рисунок А.11

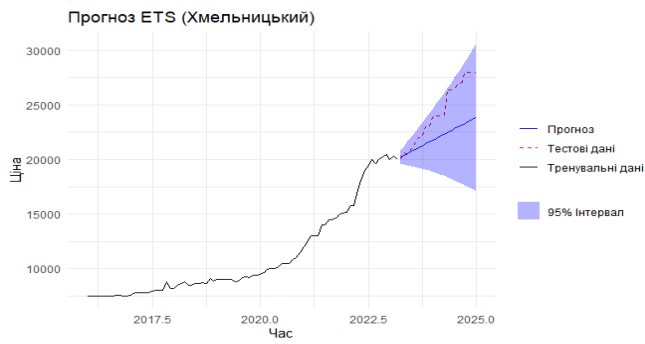


Рисунок А.12

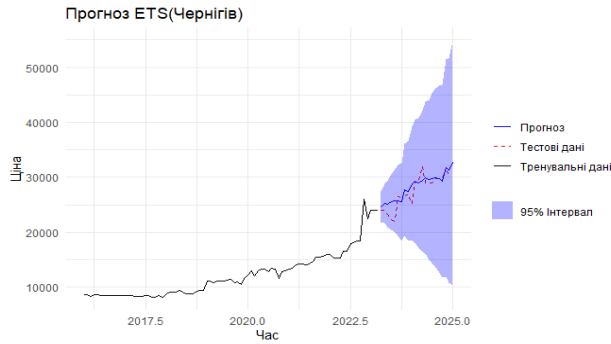


Рисунок А.13

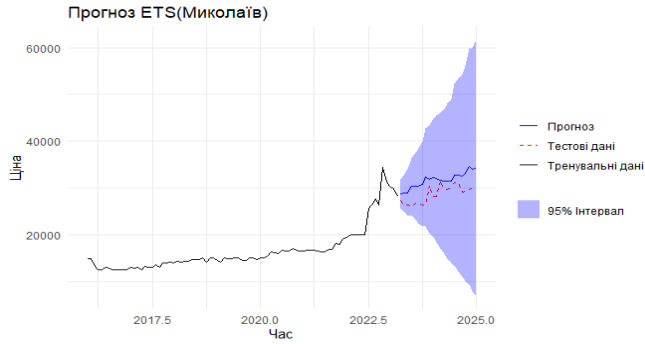


Рисунок А.14

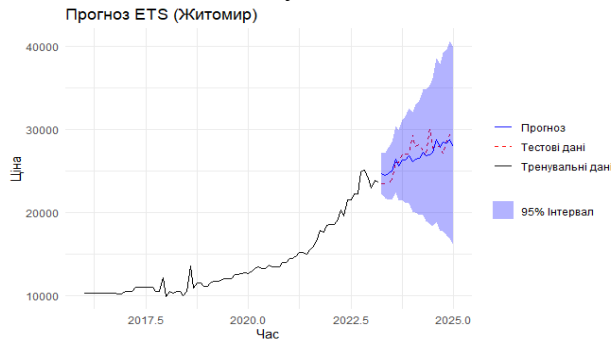


Рисунок А.15

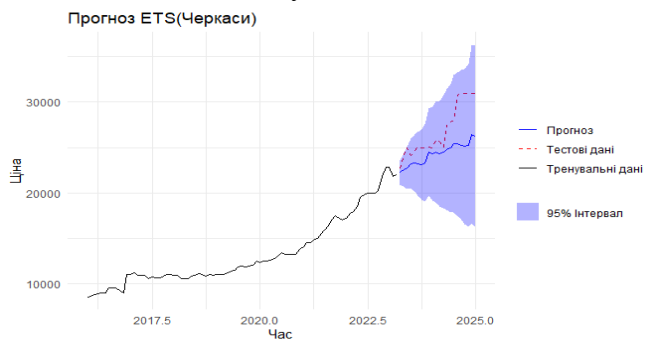


Рисунок А.16

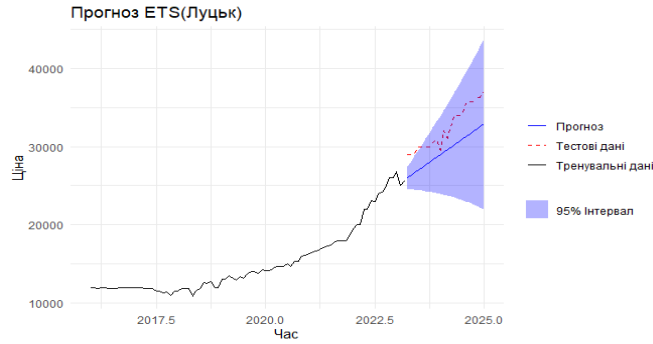


Рисунок А.17

Графічні зображення прогнозів SARIMA

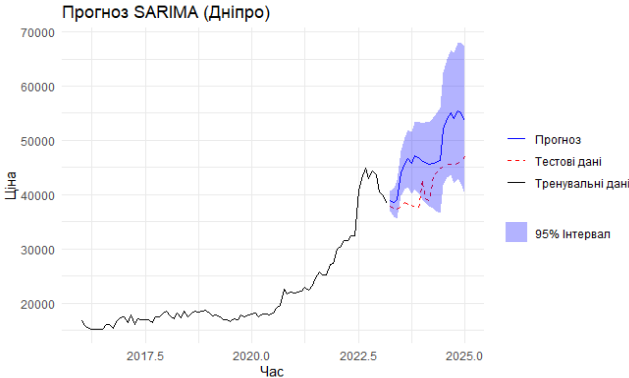


Рисунок Б.1

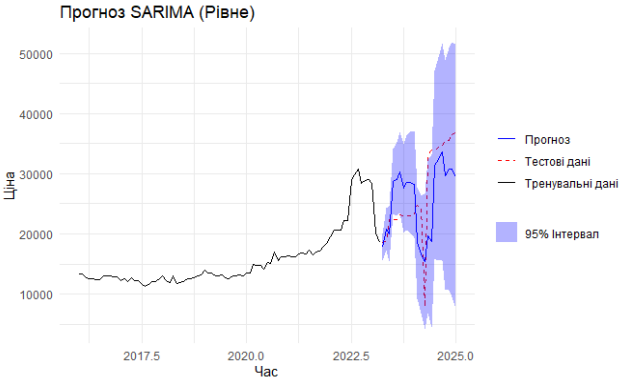


Рисунок Б.2

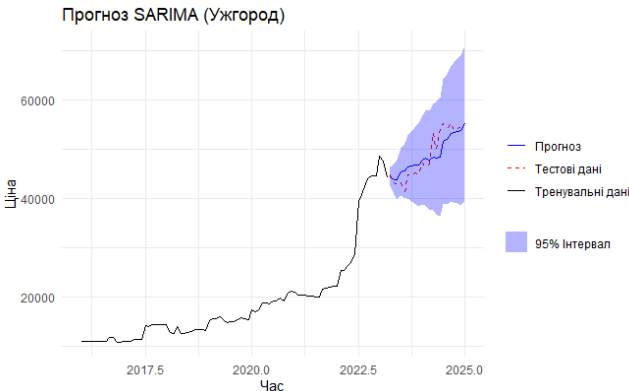


Рисунок Б.3

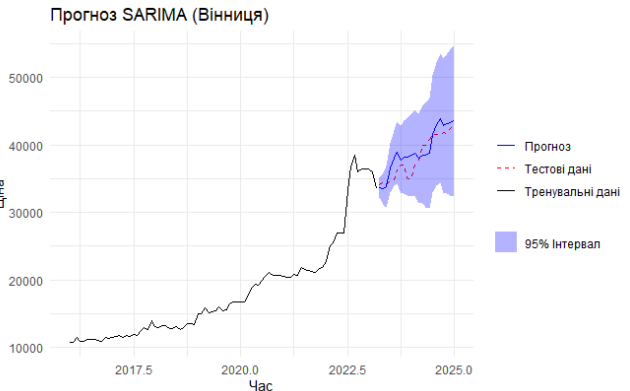


Рисунок Б.4

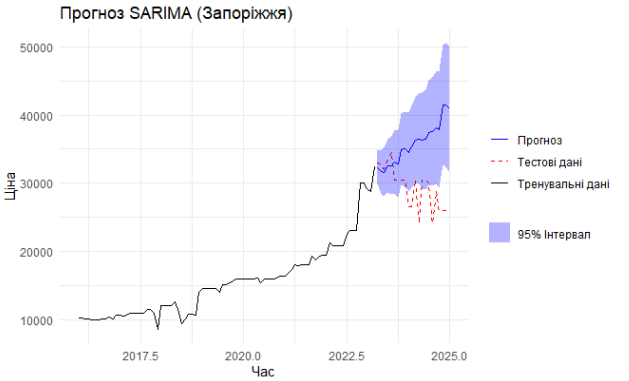


Рисунок Б.5

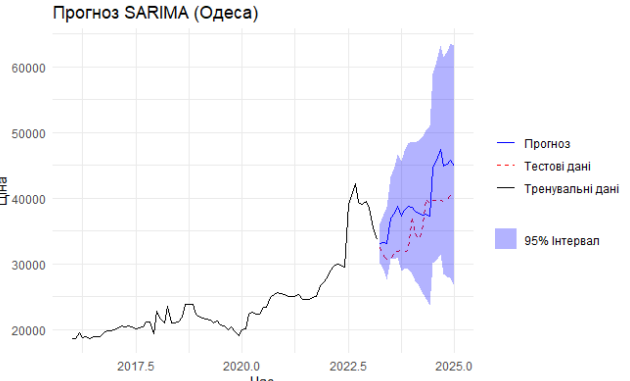


Рисунок Б.6

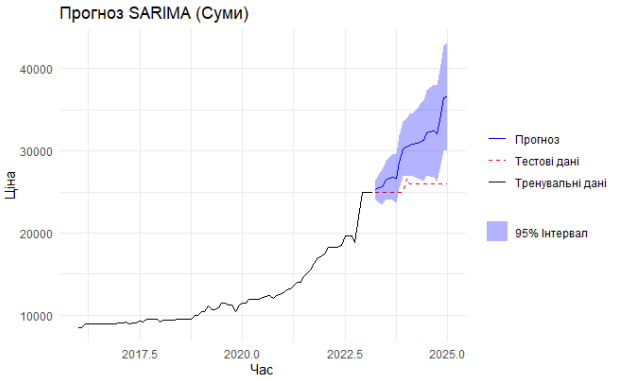


Рисунок Б.7

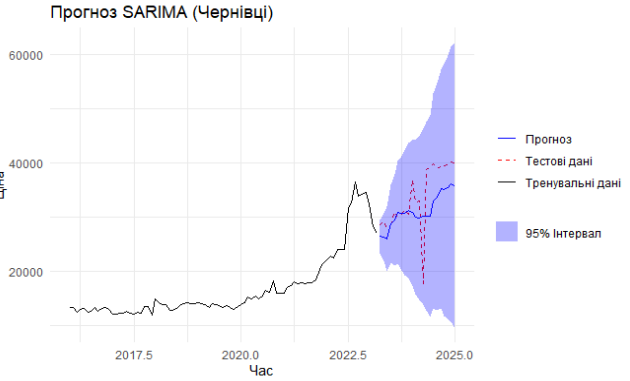


Рисунок Б.8

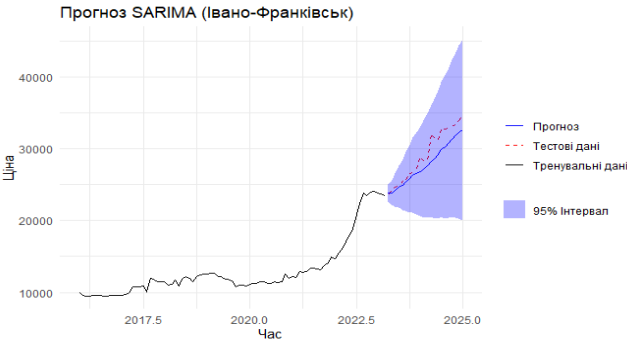


Рисунок Б.9

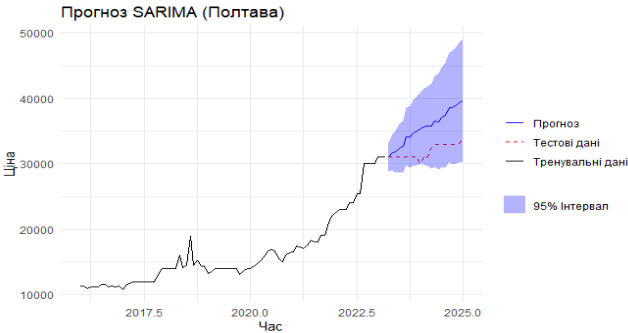


Рисунок Б.10

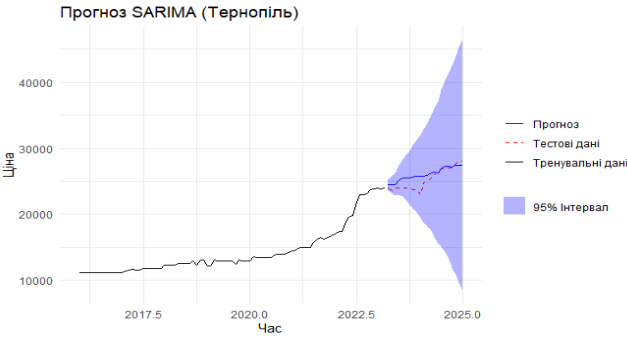


Рисунок Б.11

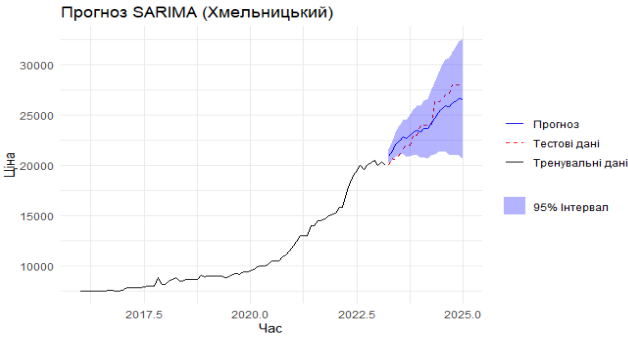


Рисунок Б.12

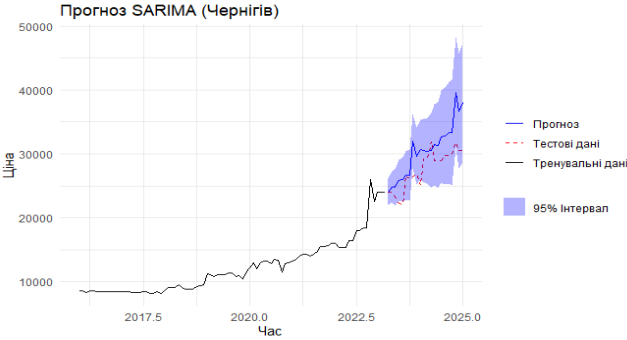


Рисунок Б.13

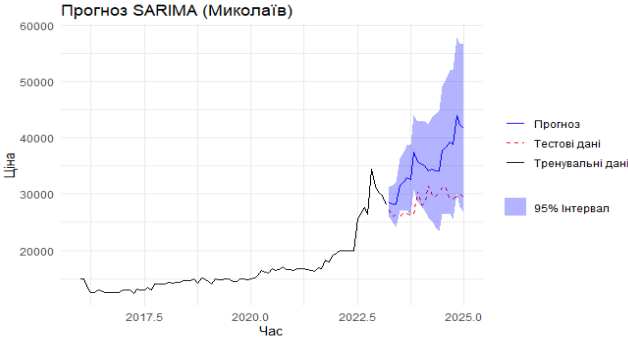


Рисунок Б.14

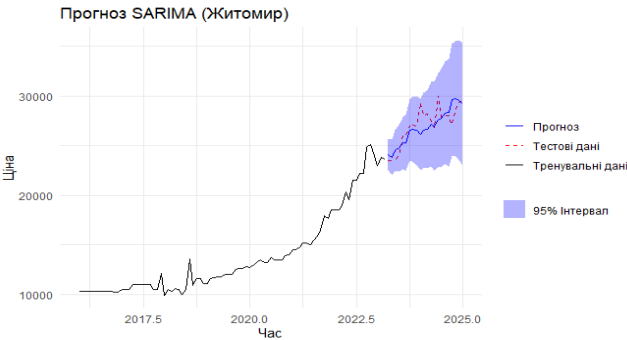


Рисунок Б.15

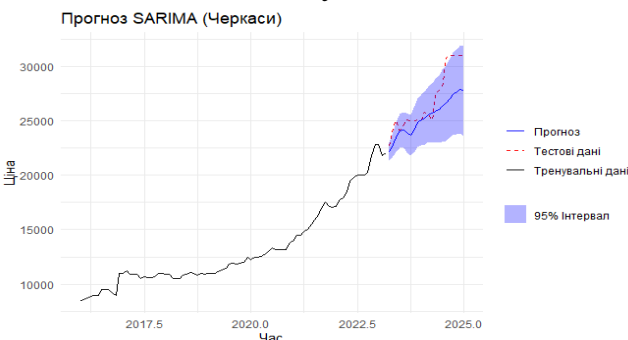


Рисунок Б.16

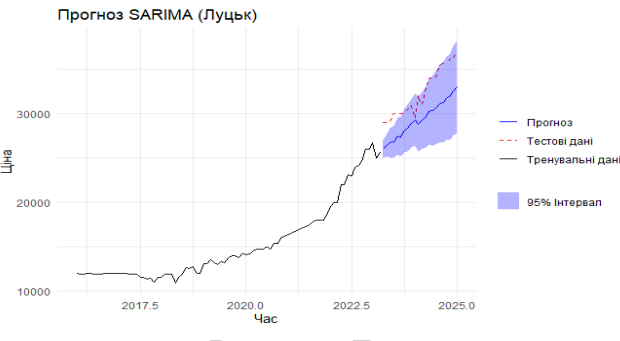


Рисунок Б.17

Додаток В

Графічне представлення прогнозу на майбутній період та таблиці із прогнозованими значеннями



Рисунок В.1



Рисунок В.2



Рисунок В.3

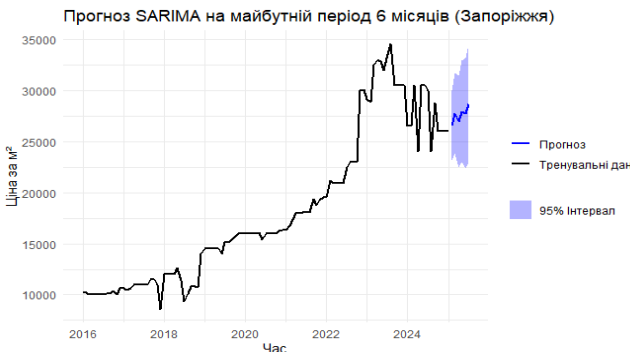


Рисунок В.4

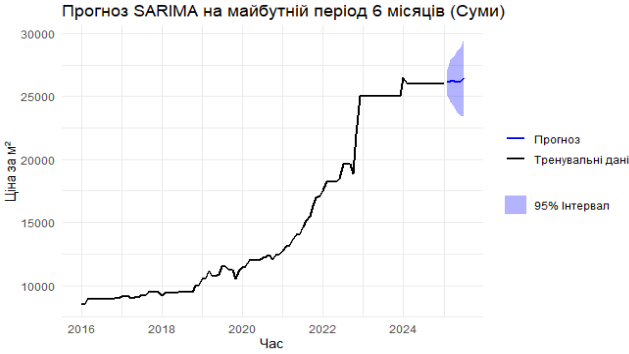


Рисунок В.5



Рисунок В.6



Рисунок В.7

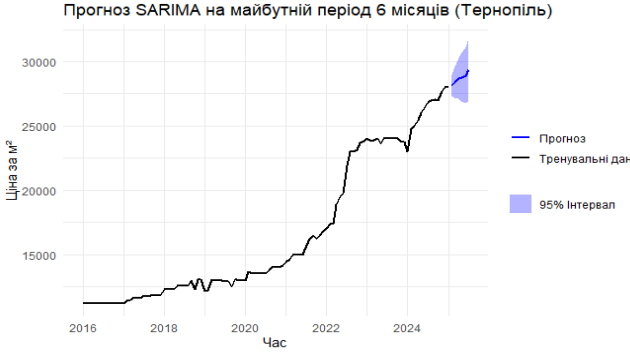


Рисунок В.8



Рисунок В.9



Рисунок В.10



Рисунок В.11



Рисунок В.12



Рисунок В.13

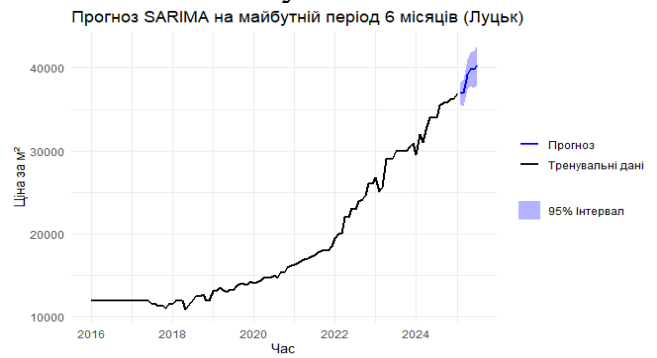


Рисунок В.14

Таблиця В.1

Дата	Медіанна ціна на квадратний метр нерухомості(грн)	Нижня межа довірчого інтервалу 95%	Верхня межа довірчого інтервалу 95%
Рівне			
01.02.2025	31 849	25 213	38 485
01.03.2025	31 708	24 415	39 001
01.04.2025	16 583	8 558	24 609
01.05.2025	40 649	31 315	49 983
01.06.2025	43 460	32 691	54 229
01.07.2025	41 458	29 504	53 412
Ужгород			
01.02.2025	54 768	51 723	57 813
01.03.2025	53 934	49 614	58 254
01.04.2025	55 230	49 482	60 978
01.05.2025	54 678	47 782	61 575
01.06.2025	55 292	47 653	62 931
01.07.2025	57 210	48 911	65 510

Вінниця			
01.02.2025	43 943	41 927	45 959
01.03.2025	43 809	40 626	46 922
01.04.2025	44 736	40 606	48 866
01.05.2025	44 581	39 850	49 312
01.06.2025	44 908	39 753	50 080
01.07.2025	46 619	40 956	52 282
Запоріжжя			
01.02.2025	26 565	23 150	29 963
01.03.2025	27 781	23 821	31 740
01.04.2025	26 942	22 440	31 445
01.05.2025	27 943	22 961	32 925
01.06.2025	27 770	22 351	33 190
01.07.2025	28 698	22 875	34 523
Суми			
01.02.2025	26 141	25 129	27 152
01.03.2025	26 243	24 612	27 873
01.04.2025	26 189	24 175	28 202
01.05.2025	26 181	23 762	28 600
01.06.2025	26 205	23 453	28 957
01.07.2025	26 474	23 380	29 568
Івано-Франківськ			
01.02.2025	34 585	33 282	35 888
01.03.2025	34 797	33 110	36 483
01.04.2025	35 998	33 845	38 151
01.05.2025	36 125	33 390	38 860
01.06.2025	36 288	33 011	39 565
01.07.2025	37 031	33 342	40 720
Полтава			
01.02.2025	34 120	32 146	36 094
01.03.2025	34 276	31 844	36 707
01.04.2025	34 638	31 729	37 547
01.05.2025	35 141	31 849	38 433
01.06.2025	35 088	31 446	38 730
01.07.2025	35 296	31 337	39 256
Тернопіль			
01.02.2025	28 149	27 320	28 978
01.03.2025	28 395	27 178	29 613
01.04.2025	28 691	27 130	30 252
01.05.2025	28 795	26 920	30 670
01.06.2025	28 928	26 746	31 111
01.07.2025	29 364	26 885	31 843
Хмельницький			
01.02.2025	28 275	27 462	29 088
01.03.2025	28 141	27 055	29 228
01.04.2025	28 381	26 963	29 799
01.05.2025	29 612	27 943	31 280
01.06.2025	29 774	27 836	31 712
01.07.2025	30 019	27 848	32 190
Чернігів			
01.02.2025	31 746	29 394	34 098

01.03.2025	31 632	28 855	34 408
01.04.2025	32 458	29 219	35 698
01.05.2025	31 961	28 450	35 473
01.06.2025	31 792	27 946	35 638
01.07.2025	31 687	27 601	35 773
Миколаїв			
01.02.2025	28 800	26 428	31 172
01.03.2025	28 549	25 728	31 371
01.04.2025	28 368	24 957	31 779
01.05.2025	28 364	24 018	32 710
01.06.2025	28 627	23 216	34 039
01.07.2025	29 609	23 248	35 970
Житомир			
01.02.2025	30 233	28 550	31 916
01.03.2025	29 736	27 623	31 850
01.04.2025	30 047	27 525	32 569
01.05.2025	30 058	27 083	33 032
01.06.2025	30 396	27 175	33 617
01.07.2025	30 586	27 026	34 145
01.02.2025	31 175	30 112	32 237
01.03.2025	31 190	29 623	32 758
01.04.2025	31 170	29 358	32 982
01.05.2025	32 957	30 877	35 027
01.06.2025	33 430	31 183	35 678
01.07.2025	33 326	30 890	35 763
Луцьк			
01.02.2025	36 937	35 621	38 252
01.03.2025	37 007	35 425	38 589
01.04.2025	39 243	37 442	41 044
01.05.2025	39 835	37 798	41 872
01.06.2025	39 840	37 631	42 049
01.07.2025	40 379	37 975	42 783

Додаток Д

Коефіцієнти отримані для міст моделі Ridge

Таблиця Д.1

Фактор	Коефіцієнт
Дніпро	
Курс гривні до долара США	1221,76
ІСЦ	920,65
Заробітна плата	0,758
Облікова ставка НБУ	214,06
ВВП	0,0003
Рівне	
Курс гривні до долара США	5,45
ІСЦ	7,23
Заробітна плата	0,0046
Облікова ставка НБУ	1,17
ВВП	0,0001
Ужгород	
Курс гривні до долара США	1606,64
ІСЦ	224,34
Заробітна плата	0,85
Облікова ставка НБУ	208,79
ВВП	0,0006
Вінниця	
Курс гривні до долара США	1139,68
ІСЦ	104,19
Заробітна плата	0,94
Облікова ставка НБУ	57,03
ВВП	0,00002
Запоріжжя	
Курс гривні до долара США	560,26
ІСЦ	45,16
Заробітна плата	0,85
Облікова ставка НБУ	86,04
ВВП	0,00001
Одеса	
Курс гривні до долара США	1006,42
ІСЦ	420,06
Заробітна плата	0,45
Облікова ставка НБУ	102,96
ВВП	0,000004
Суми	
Курс гривні до долара США	532,95
ІСЦ	248,74
Заробітна плата	0,61
Облікова ставка НБУ	73,87
ВВП	0,00001
Чернівці	
Курс гривні до долара США	960,97

ІСЦ	584,92
Заробітна плата	0,55
Облікова ставка НБУ	167,28
ВВП	0,00002
Івано-Франківськ	
Курс гривні до долара США	579,46
ІСЦ	281,02
Заробітна плата	0,37
Облікова ставка НБУ	180,9
ВВП	0,00001
Полтава	
Курс гривні до долара США	769,28
ІСЦ	229,42
Заробітна плата	0,71
Облікова ставка НБУ	123,47
ВВП	0,00001
Тернопіль	
Курс гривні до долара США	505,53
ІСЦ	256,91
Заробітна плата	0,44
Облікова ставка НБУ	103,54
ВВП	0,00001
Хмельницький	
Курс гривні до долара США	470,34
ІСЦ	557,45
Заробітна плата	0,59
Облікова ставка НБУ	63,13
ВВП	0,00001
Чернігів	
Курс гривні до долара США	518,56
ІСЦ	-54,21
Заробітна плата	0,59
Облікова ставка НБУ	46,62
ВВП	0,00001
Миколаїв	
Курс гривні до долара США	783,43
ІСЦ	-105,71
Заробітна плата	0,41
Облікова ставка НБУ	143,98
ВВП	0,0002
Житомир	
Курс гривні до долара США	518,36
ІСЦ	382,15
Заробітна плата	0,56
Облікова ставка НБУ	74,08
ВВП	0,00002
Черкаси	
Курс гривні до долара США	445,84
ІСЦ	302,58
Заробітна плата	0,55

Облікова ставка НБУ	25,13
ВВП	0,00001
Луцьк	
Курс гривні до долара США	559,48
ІСЦ	490,64
Заробітна плата	0,62
Облікова ставка НБУ	66,52
ВВП	0,00001

Програмний код для реалізації

```

# ETS модель(Застосовувався для кожного міста змінюючи назву змінних)
# 1. Завантаження даних та перетворення
ds <- read_excel("Data1.xlsx")
ts_data <- ts(ds[, -1], start = c(2016, 1), frequency = 12)
# 2. Розбиття на тренувальну та тестову вибірки
n <- length(ts_data)
ntr <- floor(0.8 * n)
train <- window(ts_data, end = c(2016 + (ntr - 1) %/% 12, (ntr - 1) %/% 12 + 1))
test <- window(ts_data, start = c(2016 + ntr %/% 12, ntr %/% 12 + 1))
# 3. Створення моделі
model <- ets(train, model = "MAM", damped = FALSE)
# 4. Прогноз та точність
fc <- forecast(model, h = length(test), level = 95)
print(accuracy(fc, test))
cat(sprintf("AIC ETS-моделі (Назва міста): %.3f\n", AIC(model)))
# 5. Перевірка залишків
res <- as.numeric(test) - as.numeric(fc$mean)
print(shapiro.test(res))
# 6. Побудова графіку
fc_df <- data.frame(Time = time(fc$mean), Mean = fc$mean, Lo95 = fc$lower[, 1],
  Hi95 = fc$upper[, 1])
ggplot() +
  geom_line(aes(x = time(train), y = as.numeric(train), colour = "Тренувальні", linetype =
    "Тренувальні")) +
  geom_line(aes(x = time(test), y = as.numeric(test), colour = "Тестові", linetype =
    "Тестові")) +
  geom_line(data = fc_df, aes(x = Time, y = Mean, colour = "Прогноз", linetype =
    "Прогноз")) +
  geom_ribbon(data = fc_df, aes(x = Time, ymin = Lo95, ymax = Hi95, fill = "95%
    Інтервал"), alpha = 0.3) +
  scale_colour_manual(name = NULL, values = c("Тренувальні" = "black", "Тестові"
    = "red", "Прогноз" = "blue")) +
  scale_linetype_manual(name = NULL, values = c("Тренувальні" = "solid", "Тестові"
    = "dashed", "Прогноз" = "solid")) +
  scale_fill_manual(name = NULL, values = c("95% Інтервал" = "blue")) +
  labs(title = "Прогноз ETS (Назва міста)", x = "Час", y = "Ціна") +
  theme_minimal() +
  theme(legend.position = "right")
print(fc_df)

```

```

# SARIMA модель (Застосовувався для кожного міста змінюючи назву змінних)
# 1. Побудова моделі на відповідних даних
arima_lviv <- Arima(train, order = c(1,1,1), seasonal = list(order = c(0,1,1), period =
12))
# 2. Прогноз і точність
fc_sarima <- forecast(arima_lviv, h = length(test))
print(accuracy(fc_sarima, test))
# 3. Перевірка залишків
res_out <- as.numeric(test) - as.numeric(fc_sarima$mean)
print(shapiro.test(res_out))
res_in <- residuals(arima_lviv)
print(Box.test(res_in, lag = 24, type = "Ljung-Box", fitdf = 4))
par(mfrow = c(1, 2)); acf(res_in); pacf(res_in); par(mfrow = c(1, 1))
# 4. Побудова графіку
df_arima <- data.frame(Time = time(fc_sarima$mean), Mean = fc_sarima$mean, Lo95
= fc_sarima$lower[,1], Hi95 = fc_sarima$upper[,1])
ggplot() +
  geom_line(aes(x = time(train), y = as.numeric(train), colour = "Тренувальні", linetype
= "Тренувальні")) +
  geom_line(aes(x = time(test), y = as.numeric(test), colour = "Тестові", linetype =
"Тестові")) +
  geom_line(data = df_arima, aes(x = Time, y = Mean, colour = "Прогноз", linetype =
"Прогноз")) +
  geom_ribbon(data = df_arima, aes(x = Time, ymin = Lo95, ymax = Hi95, fill = "95%
Інтервал"), alpha = 0.3) +
  scale_colour_manual(name = NULL, values = c("Тренувальні" = "black", "Тестові"
= "red", "Прогноз" = "blue")) +
  scale_linetype_manual(name = NULL, values = c("Тренувальні" = "solid", "Тестові"
= "dashed", "Прогноз" = "solid")) +
  scale_fill_manual(name = NULL, values = c("95% Інтервал" = "blue")) +
  labs(title = "Прогноз SARIMA (Назва міста)", x = "Час", y = "Ціна") +
  theme_minimal() + theme(legend.position = "right")

# Ridge модель (Застосовувався для кожного міста змінюючи назву змінних)
# 1. Завантаження даних та перетворення
df <- read_excel("ЛьвівRidge.xlsx") %>%
  mutate(Date = as.Date(Дата, "%Y-%m-%d")) %>%
  arrange(Date) %>% drop_na()
X_vars <- c("Курс", "ІСЦ", "ЗП", "Облставка", "ВВП")
stopifnot(all(X_vars %in% colnames(df)))
X <- df %>% select(all_of(X_vars)) %>% as.matrix(); y <- df$Ціна
# 2. Розбиття на тренувальну та тестову вибірки
n <- nrow(df); train_size <- floor(0.8 * n)
train_idx <- 1:train_size; test_idx <- (train_size + 1):n

```

```

X_train <- X[train_idx, ]; y_train <- y[train_idx]; dates_train <- df$Date[train_idx]
X_test <- X[test_idx, ]; y_test <- y[test_idx]; dates_test <- df$Date[test_idx]
# 3. Підбір  $\lambda$  і модель
set.seed(42)
cv_mod <- cv.glmnet(X_train, y_train, alpha = 0, nfolds = 5, standardize = TRUE)
best_lambda <- cv_mod$lambda.min
cat(sprintf("Оптимальний  $\lambda$ : %.6f\n", best_lambda))
ridge_mod <- glmnet(X_train, y_train, alpha = 0, lambda = best_lambda)
# 4. Коефіцієнти
coefs <- coef(ridge_mod)
coef_df <- data.frame(Variable = coefs@Dimnames[[1]], Coefficient = as.vector(coefs))
print(coef_df)
# 5. Прогноз та залишки
pred_train <- predict(ridge_mod, newx = X_train, s = best_lambda)
pred_test <- predict(ridge_mod, newx = X_test, s = best_lambda)
pred_vec <- as.numeric(pred_test)
residuals_train <- y_train - pred_train; residuals_test <- y_test - pred_vec
# 6. Довірчий інтервал
sigma_est <- sqrt(mean(residuals_train^2))
lower <- pred_vec - 1.96 * sigma_est; upper <- pred_vec + 1.96 * sigma_est
coverage <- mean(y_test >= lower & y_test <= upper) * 100
cat(sprintf("CI покриття: %.1f%%\n", coverage))
# 7. Перевірка залишків
print(shapiro.test(residuals_train))
print(shapiro.test(residuals_test))
# 8. Побудова графіку
df_plot <- data.frame(
  Date = c(dates_train, dates_test, dates_test, dates_test),
  Value = c(y_train, y_test, pred_vec, lower),
  Series = c(rep("Тренувальна", length(y_train)),
    rep("Тестова", length(y_test)),
    rep("Прогноз", length(pred_vec)),
    rep("Довірчий інтервал", length(pred_vec))))
ggplot() +
  geom_line(data = filter(df_plot, Series %in% c("Тренувальна", "Тестова",
"Прогноз")),
    aes(Date, Value, color = Series, linetype = Series), size = 1) +
  geom_ribbon(data = tibble(Date = dates_test, ymin = lower, ymax = upper),
    aes(Date, ymin = ymin, ymax = ymax, fill = "95% Інтервал"), alpha = 0.2) +
  scale_color_manual(values = c("Тренувальна" = "black", "Тестова" = "red",
"Прогноз" = "blue")) +
  scale_linetype_manual(values = c("Тренувальна" = "solid", "Тестова" = "dashed",
"Прогноз" = "solid")) +
  scale_fill_manual(values = c("95% Інтервал" = "blue")) +
  labs(title = "Прогноз Ridge-регресії (Львів)", x = "Дата", y = "Ціна") +

```

```

theme_minimal(base_size = 14)
# 9. Метрики оцінки якості моделі
errors <- y_test - pred_vec; n_test <- length(y_test); p <- ncol(X_test)
mse_test <- mean(errors^2); rmse_test <- sqrt(mse_test)
mae_test <- mean(abs(errors)); mape_test <- mean(abs(errors / y_test)) * 100
R2_test <- 1 - sum(errors^2) / sum((y_test - mean(y_test))^2)
cat("\n Метрики на тестовій вибірці \n")
cat(sprintf("RMSE: %.4f\nMAE: %.4f\nMAPE: %.2f %%\nR^2: %.4f\n", rmse_test,
mae_test, mape_test, R2_test))

```



Звіт подібності

метадані

Назва організації

Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman KNEU

Заголовок

Урадовський_Коляда_plagiat

Автор

Науковий керівник / Експерт

УрадовськийКоляда

підрозділ

кафедра математичного моделювання та статистики

Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.

4.79%
4.79%

КП 1

25

Довжина фрази для коефіцієнта подібності 2

2.14%
2.14%

КП 2

11445

Кількість слів

1.27%
1.27%

КЦ

83532

Кількість символів

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв		14
Інтервали		0
Мікропробіли		9
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		18

Подібності за списком джерел

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Копію тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз

Копію тексту

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ (ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ))
1	https://legalaid.wiki/index.php/%D0%94%D0%B5%D1%80%D0%B6%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%B0_%D1%80%D0%B5%D1%94%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F_%D1%80%D0%B5%D1%87%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%85_%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2_%D0%BD%D0%B0_%D0%BD%D0%B5%D1%80%D1%83%D1%85%D0%BE%D0%BC%D0%B5_%D0%BC%D0%B0%D0%B9%D0%BD%D0%BE	58 0.51 %
2	https://porady.org.ua/index.php/pryznennya-poruky-ta-zastavy-ipoteki-nislya-zaminy-borzhnyka	53 0.46 %